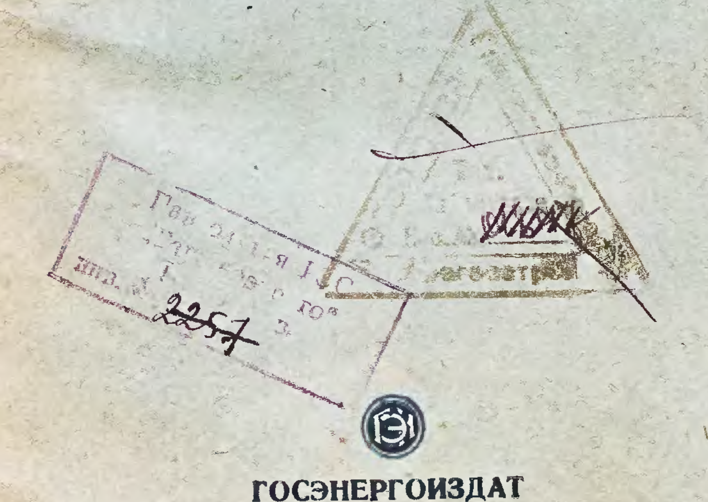
М. Д. БЕЛКИН, Г. С. ШТЫХНОВ

ЩЕТКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН, ИХ ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

М. Д. БЕЛКИН и Г. С. ШТЫХНОВ

ЩЕТКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН, ИХ ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1952 ЛЕНИНГРАД



ЭЭ—5(4)—3
52340

В книге рассматриваются выбор и эксплуатация щеток для электрических машин. Приводятся свойства щеток, технология их изготовления и контроль качества. Даются причины искрения, их устранение.

Книга предназначена для инженеров, техников и квалифицированного персонала, занимающегося эксплуатацией электрических машин и их наладкой.

Редактор *Ф. Ф. Воронцов* и *Л. С. Линдорф* Техн. редактор *С. Н. Бабочкин*

Сдано в набор 12/IV 1952 г. Подписано к печати 18/XI 1952 г.
Объем 10 п. л. Уч.-изд. л. 13,5 Бумага 60×92 1/16
Т-08030 Тираж 7000 Зак. 3154
Цена 6 р. 75 к. (номинал по прейскуранту 1952 г.)

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб. 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

До настоящего времени вопрос о свойствах и области применения различных марок щеток для электрических машин совершенно недостаточно отражен в нашей технической литературе. Выпущенные в 30-х годах на наш книжный рынок переводные книги Нейкирхена [Л. 1] и Гейнриха [Л. 2] касались главным образом общих проблем скользящего контакта. Книга Красильникова [Л. 3], наоборот, посвящена главным образом технологии производства электроугольных изделий. Сведения о щетках электрических машин, приводимые в различных справочниках, носят отрывочный и несистематизированный характер. Кроме того, эти сведения во многом значительно устарели.

Между тем конструкторы электрических машин и эксплуатационный персонал нуждаются в пособии, в котором вопросы свойств и областей применения щеток различных марок были бы изложены более подробно и позволили бы правильно производить выбор щеток. Предлагаемая книга предназначается для широкого круга работников промышленных предприятий, транспорта, электростанций и пр., занимающихся вопросами эксплуатации и конструирования электрических машин. Книга может быть полезна как для инженеров и техников предприятий, так и для монтеров, непосредственно занимающихся наблюдением и уходом за электрическими машинами.

В настоящее время многие вопросы электроугольной техники еще не решены. Окончательно не выяснены, например, такие практически важные соотношения, как зависимость между составом щетки, технологией изготовления и свойствами, между свойствами щеток различных марок и областями их применения и т. п. Конструкторы электрических машин и работники эксплуатации при выборе марки щеток в основном руководствуются только общими соображениями выбора группы щеток (например, для низковольтных машин выбираются металлосодержащие щетки, для быстроходных машин — электрографитированные щетки и т. п.). Конкретный же выбор марки щетки производится обычно эмпирически, путем иногда длительного подбора. Вследствие этих причин данная книга, хотя и не может содержать исчерпывающих сведений о природе и свойствах скользящего контакта при различных условиях работы, все же должна оказать сущест-

венную помощь при выборе марки щеток для той или иной электрической машины, а также для правильной оценки эксплуатационных свойств различных марок щеток.

На многих предприятиях находятся в эксплуатации электромашины, на которых применялись электрощетки иностранных фирм, установленные заводами — изготовителями машин. После того как щетки износились, их заменяют щетками отечественного производства. Из-за недостатка данных о характеристиках электрощеток различных иностранных марок выбор щеток отечественных марок, заменяющих иностранные, весьма затруднен и подчас производится неправильно. В результате имеет место либо неудовлетворительная работа щеток, либо применение без должных к тому оснований дефицитных и дорогих сортов щеток, что является технически и экономически неоправданным.

Для облегчения решения этой задачи в книге приводятся основные данные, позволяющие установить соответствие марок электрощеток иностранных фирм маркам электрощеток отечественного изготовления.

При составлении настоящей книги авторы воспользовались помощью и советами целого ряда работников электроугольной промышленности и эксплуатации. При составлении гл. 3 были использованы указания А. Д. Соболевой. Параграфы 5, 7 и 8, гл. 4 написаны Н. И. Огаревым. При составлении гл. 5 были использованы работы И. П. Трифонова, П. С. Лившица, указания ряда потребителей, в том числе электриков завода «Азовсталь» им. Орджоникидзе. В. И. Башков любезно взял на себя просмотр рукописи настоящей книги и дал ряд ценных указаний. Авторы выражают свою искреннюю признательность всем перечисленным выше лицам и организациям.

Как указывалось выше, вопросы производства и эксплуатации щеток для электрических машин до настоящего времени были изучены в меньшей степени, чем вопросы, касающиеся других отраслей электропромышленности; ввиду этого данная книга особенно нуждается в оценке со стороны читателей, в первую очередь потребителей электрощеток. Авторы будут признательны всем лицам и организациям, сообщившим свои отзывы о книге, а также указания на ее недостатки. Отзывы просим направлять по адресу: Москва, Шлюзовая набережная, д. 10 — Редакция электротехнической литературы.

Г. С. Штыхнов
М. Д. Белкин

СОДЕРЖАНИЕ

Глава третья

Физико-химические свойства электрощеток

Глава четвертая

Производство электрощеток (краткие сведения)

Глава пятая

Выбор электрощеток

Глава шестая

Основные правила эксплуатации электрощеток

Приложения

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЭЛЕКТРОЩЕТКИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИИ, И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

1. Краткий обзор развития электрощеток

В первых образцах электрических машин снятие напряжения или тока с вращающихся частей производилось посредством пучка проволок, напоминавшего по внешнему виду метлу или щетку. Это название токосъемного устройства настолько укоренилось, что осталось и до сих пор, хотя уже более 60 лет такие устройства, состоящие из набора проволок, не применяются.

В дальнейшем электрощетки стали изготовляться из медной фольги или сетки, свернутых в виде рулона прямоугольного сечения. Такие щетки сохранились в эксплуатации на старых типах электродвигателей до настоящего времени, однако изготовление их прекращено. В качестве электрощеток предлагалось также применять «пружины и ролики»; однако этот тип щеток распространения не получил. Медносетчатые и фольговые щетки можно считать первыми представителями современных металло-графитных щеточных марок.

Начиная с 1905—1910 гг. и по настоящее время, металло-графитные щетки изготовляются из смеси порошков меди и графита, а иногда и свинца (размер частиц — порядка 5—80 микрон). Следует отметить, что прессование изделий из металлического порошка (платиновые чаши, тигли, монеты, медали и пр.) впервые было осуществлено русским ученым П. Г. Соболевским 24 мая 1826 г., положившим начало металлокерамике [Л. 4].

По мере дальнейшего развития энергетики развивалось и электромашиностроение. Напряжение и мощность электрических машин все более возрастали, а коммутация становилась все более затрудненной. Для электрических машин постоянного тока напряжением 120 *в* и выше уже нельзя стало применять щетки из медной фольги, несмотря на введение дополнительных полюсов и осуществление других мероприятий, улучшающих условия коммутации. Металло-графитные щетки также не отвечали требованиям безискровой коммутации.

Дальнейшему развитию электрощеток способствовало развитие электроугольной промышленности в части изготовления элек-

тродов для электрической дуги. Сначала электроды изготовлялись в виде кусков графита и древесного угля. Затем для электродов начали применять искусственный уголь, т. е. угольный порошок, смешанный с сахаром или патокой, спрессованный и затем обожженный. Этот способ был применен и для изготовления электрощеток. Изготовление первых твердых угольных щеток относится к 1890 г.

Так появились первые два класса щеточных марок: металлографитные и угольно-графитные, одни — предназначенные для работы на электромашинах с низким напряжением на коллекторе или кольцах и другие — на электромашинах с высоким напряжением на коллекторе. Оба класса щеток характеризуются сравнительно низкой допустимой окружной скоростью скользящего контакта.

С появлением быстроходных машин с кольцами, в основном — турбогенераторов переменного тока и быстроходных коллекторных машин, потребовались новые типы щеток, так как металлографитные и угольно-графитные щетки не смогли работать при высоких окружных скоростях из-за искрения, вызываемого вибрациями щеток. Для быстроходных машин с кольцами были разработаны графитные щетки (3-й класс щеточных марок), полученные путем прессования порошка графита с малым количеством связующего (смола, бакелит) и последующего обжига при сравнительно низкой температуре, порядка нескольких сотен градусов. Для некоторых сортов графита (цейлонский) оказалось возможным даже получать готовые щеточные блоки путем одного лишь прессования, без всякого связующего и без обжига. Щетки этого типа получили название натурально-графитных. Первые образцы графитных щеток появились в 1893 г., а натурально-графитных — в 1905 г.

Графитные и, в особенности, натурально-графитные щетки работали на кольцах быстроходных машин без искрения. На коллекторах же быстроходных машин напряжением свыше 220 *в*, а иногда даже и на машинах напряжением 120—220 *в* эти щетки без искрения не работали. Было известно, однако, что твердые угольные щетки хорошо работают на коллекторах тихоходных машин, но начинают искрить при повышении окружной скорости скользящего контакта свыше 12—15 *м/сек* вследствие появления вибрации щеток. Путем изменения технологии изготовления угольно-графитных щеток был получен 4-й класс щеток — электрографитированные, сочетавшие в себе свойства 2-го и 3-го классов, т. е. угольных и графитных щеток [Л. 5].

Процесс изготовления электрографитированных щеток вначале аналогичен изготовлению как твердых угольных, так и угольно-графитных щеток.

Полученные щеточные блоки подвергаются так называемой графитации, т. е. дополнительному прокаливанию при температурах порядка 2 500° С в специальных печах сопротивления.

В результате такой обработки жесткость и коэффициент трения щеток уменьшаются, вызывая уменьшение вибрации щеток и искрения.

2. Классификация электрощеток по их составу

В настоящее время существуют следующие четыре основных класса щеток для электрических машин:

1-й класс — металло-графитные щетки;
2-й класс — угольно-графитные щетки;
3-й класс — графитные щетки;
4-й класс — электрографитированные щетки.

Каждый из этих классов, в свою очередь, делится на группы в зависимости от исходных материалов и способа изготовления.

В табл. 1 приведены общие краткие сведения о каждой группе электрощеток с указанием основного назначения группы, краткого описания исходных материалов и способа изготовления, а также области применения. Приведенные в таблице данные носят общий характер и относятся к электрощеткам как отечественного производства, так и иностранных фирм.

3. Технические характеристики электрощеток по группам

Технические характеристики электрощеток по группам, перечисленным в табл. 1, выделены в самостоятельную таблицу — табл. 2. Сведения для заполнения этой таблицы получены в результате обобщений лабораторных материалов и каталожных данных по щеткам отечественного производства и щеткам иностранных фирм.

Приведенные в табл. 2 значения переходного падения напряжения, коэффициента трения, износа щеток и износа коллектора или колец соответствуют режиму работы щеток при их номинальной плотности тока, окружной скорости 15—25 *м/сек*, угловой скорости не выше 2—3 тыс. об/мин и удельном нажатии щеток на коллектор в пределах 150—250 *г/см*^{2}.

Приведенная там же оценка износа коллектора или колец ориентировочно соответствует следующим значениям износа за год (7—8 тыс. час.) непрерывной работы:

пониженный . . . . до 0,15 *мм*
средний . . . . до 0,5 *мм*
повышенный . . . . до 2,0 *мм*

Зная физико-химические характеристики щеточных блоков неизвестных марок или каких-либо готовых щеток, на которых не обозначена марка, можно, пользуясь табл. 2, отнести исследуемые изделия к той или иной группе электрощеток и в соответствии с этой таблицей (а также табл. 1) наметить область применения, а также допустимые условия эксплуатации для этих щеток (для щеток отечественного производства технические характеристики приведены в табл. 11, а область применения — в табл. 12).

Таблица 1

Классификация электрощеток в зависимости от их состава

№ класса	Название класса	Группа	Основное назначение группы	Исходные материалы и процесс изготовления	Область применения
1	Металло-графитные щетки	а) Бронзо-графитные с высоким содержанием меди (до 80%) и с примесью свинца (до 10—12%)	Для высокой плотности тока	Порошки графита, меди и свинца. Прессование. Обжиг при температуре ниже 1 000°С	Латунные кольца асинхронных двигателей и преобразователей. Низковольтные генераторы на большую силу тока (для электролиза). Автомобильные генераторы и стартеры. Униполярные машины
		б) С высоким содержанием меди (до 80—90%)	Для машин с низкими электрическими потерями в щетках	Порошки графита и меди. Смешение без связующего. Прессование. Обжиг при температуре ниже 1 000°С	Область применения та же, что и выше; но по сравнению с предыдущей группой электрические потери у щеток ниже, а износ несколько выше
		в) С повышенным содержанием меди (свыше 50%)	Для машин низкого напряжения	То же, что и в предыдущей группе	Латунные кольца асинхронных двигателей, преобразователей и синхронных машин. Зарядные и автомобильные генераторы, а также стартеры
		г) С пониженным содержанием меди (до 50%)	Для машин пониженного напряжения	Порошки графита и меди. Смешение с небольшим количеством связующего (смола, иногда бакелит). Обжиг при температуре ниже 1 000°С	Латунные кольца преобразователей. Латунные и стальные кольца синхронных машин. Зарядные и автомобильные генераторы. Тяговые двигатели пониженного напряжения (например, рудничных электровозов)
		д) Серебряно-графитные	Для специальных случаев	Порошки графита и серебра. Смешение, прессование и обжиг—подобно предыдущим (а,б,в,г).	Серводвигатель специальных механизмов (счетчики и тому подобные приборы)

Продолжение

№ класса	Название класса	Группа	Основное назначение группы	Исходные материалы и процесс изготовления	Область применения
2	Угольно-графитные щетки	а) Средней твердости	Для наиболее распространенных типов машин	Порошки графита с примесью других угольных материалов (сажа, кокс). Смешение со связующим (смола, пек). Прессование. Обжиг при температуре свыше 1 000°С	Стационарные генераторы постоянного тока сравнительно небольшой мощности. Всевозможные двигатели постоянного тока небольшой и средней мощности, со спокойными условиями работы
		б) Повышенной твердости	Для работы в трудных условиях (на машинах, подверженных загрязнению, механическим сотрясениям, толчкам нагрузки и искрению)	Порошки угольных материалов (сажа, кокс) с примесью графита. Смешение со связующим (смола, пек). Прессование. Обжиг при температуре свыше 1 000°С	Тяговые двигатели постоянного тока и прочие двигатели с толчкообразной нагрузкой. Коллекторные двигатели переменного тока. Машины, у которых коллекторы подвержены загрязнению или почернению. Малогабаритные двигатели (кассовые и т. п.)
3	Графитные щетки	а) Графитные (обычные)	Для наиболее распространенных типов машин постоянного тока (подобно 2а)	Порошок графита. Смешение со связующим (смола, пек). Прессование. Обжиг при температуре свыше 1 000°С	Машины постоянного тока, подобные указанным для группы 2а, но с несколько более высокой окружной скоростью. Кольца синхронных машин. Сварочные генераторы
		б) Натурально-графитные	Для колец машин с самыми высокими окружными скоростями	Порошок графита. Большей частью прессуется без всякого связующего и без обжига; иногда прибавляется немного связующего (смола, бакелит), и щетка обжигается при невысокой температуре (порядка 200—500°С)	Большей частью применяются на стальных кольцах быстроходных турбогенераторов. Могут применяться также на коллекторах машин постоянного тока, однако в этом случае окружная скорость допускается обычно не свыше 40 *м/сек*

Продолжение табл. I

№ класса	Название класса	Группа	Основное назначение группы	Исходные материалы и процесс изготовления	Область применения
3	Графитные щетки	в) Высокоомные	Для коллекторов машин самого высокого напряжения	Порошок графита. Смешение со связующим (обычно бакелит). Обжиг при невысокой температуре (порядка 200°С)	Радиоумформеры самолетных установок; небольшие двигатели высокого напряжения с самыми трудными условиями коммутации
		г) Абразивные	Для коллекторов и колец, подверженных почернению	Порошок графита с примесью абразивного вещества (иногда также и с примесью различных угольных материалов). Смешение со связующим (смола, бакелит), а в иных случаях — без связующего (подобно 3б). Прессование. Обжиг при различных температурах (от 200° С до температуры свыше 1 000°С	Подобно графитным, натурально-графитным или угольно-графитным щеткам средней твердости (3а, 3б, 2а), в тех случаях, когда коллекторы или кольца подвергаются почернению вследствие химического воздействия окружающей среды и т. п. причин
		д) Электро-графитные	Для наиболее распространенных типов машин постоянного тока (подобно 2а, 3а)	Подобно графитным и угольно-графитным щеткам средней твердости (3а, 2а), но с применением электрографита (т. е. графита, обеззоленного путем прокаливания при температурах порядка 2 500° С)	Подобно 3а, 2а, особенно в тех случаях, когда требуется плавный ход и практически полное отсутствие износа коллектора или колец

Продолжение табл. I

№ класса	Название класса	Группа	Основное назначение группы	Исходные материалы и процесс изготовления	Область применения
4	Электро-графитированные	а) Мягкие	Для колец машин с самыми высокими окружными скоростями (подобно 3б)	Подобно графитным щеткам (3а), но подвергаются процессу электрографитации, т. е. прокаливанию при температурах порядка 2 500° С	Подобно натурально-графитным (3б), особенно в тех случаях, когда требуется минимальный износ коллектора или колец
		б) Средней твердости	Для наиболее распространенного типа машин постоянного тока (подобно 2а, 3а, 3д)	Подобно угольно-графитным щеткам (2а, 2б), но подвергаются процессу электрографитации	Подобно угольно-графитным щеткам средней твердости, а также графитным и электрографитным щеткам (2а, 3а, 3д), особенно в тех случаях, когда требуется плавный ход щеток и минимальный износ коллектора или колец. Сварочные генераторы
		в) Твердые	Для наиболее современных и технически совершенных электромашин	Подобно твердым угольно-графитным щеткам (2б), но подвергаются процессу электрографитации	Быстроходные турбогенераторы постоянного тока. Тяговые и крановые двигатели. Стационарные генераторы постоянного тока средней и большой мощности. Самолетные электромашины

Примечания:

1. Металло-графитные марки щеток с содержанием олова (например, наша марка БГ) также относится к группе 1а.

2. Некоторые марки щеток группы 1г (с низким содержанием меди) иногда относятся в иностранных каталогах к группе 3б (натурально-графитные щетки).

3. Некоторые марки щеток группы 4в (твердые электрографитированные) вследствие высокой пористости могут быть механически слабыми и фактически обладать низкой твердостью (например, наша марка ЭГ-83). Тем не менее их следует относить к группе 4в, так как они изготовляются из угольных материалов (без графита) и применяются в тех же случаях, что и остальные марки этой группы, обладающие значительной твердостью.

№341

Таблица 2

Технические характеристики групп электрощеток, допустимые условия эксплуатации

№ групп	Название группы	Плотность тока, $a/см^2$	Максимальная окружная скорость, $м/сек$	Максимальная угловая скорость, тыс. об/мин.	Переходное падение напряжения (на пару щеток), $в$	Напряжение машины, $в$	Коммутация	Коэффициент трения	Износ щетки, $мм$ за 50 час.	Износ коллектора (колец)	Удельное электрическое сопротивление, $ом \cdot мм^2/м$	Твердость по Шору	Твердость по методу вдавливания, $кг/мм^2$	Объемный вес, $г/см^3$	Содержание золы, %
1а	Бронзо-графитные	20	20—25	3	0,3—0,6	6—10	Облегченная	До 0,15	До 0,30	Средний	0,08—0,50	До 10	5—20	4,8—6,0	До 1
1б	Медно-графитные (с высоким содержанием меди)	18	20	3	0,1—0,5	6—10	То же	До 0,20	До 0,50	То же	0,05—0,40	До 10	5—20	4,0—5,5	До 1
1в	Медно-графитные (с повышенным содержанием меди)	15	20	3	0,5—1,5	До 40	То же	До 0,25	До 0,30	То же	0,3—1,5	15—30	10—30	3,5—4,5	До 3
1г	Медно-графитные (с пониженным содержанием меди)	12—15	25	4	1,0—2,2	До 80	Нормальная	До 0,20	До 0,20	То же	1,0—15	20—40	15—40	2,0—3,0	До 5
1д	Серебряно-графитные	Все показатели—подобно группам 1а—1г в зависимости от содержания серебра в щетке													
2а	Угольно-графитные средней твердости	10	20	3	1,5—2,5	120—220	Нормальная	До 0,25	До 0,25	Средний	20—40	30—50	20—50	1,45—1,60	До 8
2б	Твердые угольно-графитные	5—8	12—15	2	1,8—3,0	До 500	Затрудненная	До 0,30	До 0,15	Повышенный	30—100	40—80	30—100	1,45—1,60	До 5
3а	Графитные	10	25—30	4—5	1,5—2,5	120	Нормальная	До 0,20	До 0,30	Средний	15—30	25—40	10—30	1,50—1,70	До 10
3б	Натурально-графитные	10	50—70	7—10	1,2 2,5	120	То же	До 0,15	До 0,30	Повышенный	15—30	10—30	3—30	1,50—1,70	До 10
3в	Высокоомные	2,5—4	15—40	2—6	До 7	Самое высокое (1 500 $в$ и выше)	Самая затрудненная	До 0,20	До 0,20	Средний	До 1 000	20—40	10—30	1,50—1,80	До 10
3г	Абразивные	10	20—50	3—7	1,2—2,5	120	Нормальная	До 0,25	До 0,25	Самый высокий	15—40	20—40	10—30	1,50—1,80	До 20
3д	Электрографитные	10	30	4—5	1,5—2,5	120	То же	До 0,20	До 0,25	Пониженный	15—40	20—40	15—40	1,45—1,60	До 1
4а	Мягкие электрографитированные	10—12	40—70	6—10	1,5—2,5	120	Нормальная	До 0,15	До 0,30	Пониженный	10—20	10—30	3—15	1,50—1,70	До 2
4б	Электрографитированные средней твердости	10	25—30	4—5	1,8—3,0	120—230	Несколько затрудненная	До 0,20	До 0,15	Самый низкий	20—40	30—60	15—40	1,50—1,70	До 1
4в	Твердые электрографитированные	10	50—60	7—10	1,8—3,0	До 1 000	Затрудненная	До 0,25	До 0,15	Пониженный	25—70	40—70	20—80	1,50—1,70	До 0,5

ГЛАВА ВТОРАЯ

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЭЛЕКТРОЩЕТКАМ

1. Свойства электрощеток, определяющие их область применения

а) Перечень свойств

Допустимость применения электрощеток в эксплуатации определяется свойствами щеток, условиями их эксплуатации и конструктивными данными машин.

Отмечается шесть основных свойств электрощеток, определяющих область их применения и зависящих от состава и качества материала, используемого при изготовлении щеток и технологии их изготовления.

1. Переходное падение напряжения в скользящем контакте, т. е. между щеткой и коллектором (кольцами).
2. Коэффициент трения щеток о коллектор (кольца).
3. Износ щетки.
4. Износ коллектора (колец).
5. Искрение вследствие механических причин.
6. Искрение вследствие электрических причин.

Каждое из перечисленных свойств отдельно рассматривается ниже.

б) Переходное падение напряжения в скользящем контакте

При прохождении тока через скользящий контакт, т. е. от щетки к коллектору или от коллектора к щетке, переходное сопротивление скользящего контакта не остается постоянным, а изменяется в зависимости от плотности тока: при возрастании плотности тока переходное сопротивление падает и, наоборот, при уменьшении плотности тока — возрастает. Таким образом, вольтамперная характеристика скользящего контакта отклоняется от прямой линии. Основная причина этого явления заключается в том, что поверхность коллектора под щетками (щеточный след) покрыта пленкой, состоящей из окислов меди (с примесью частиц угля или графита). Подобная пленка ведет себя как полупроводник.

Поскольку сопротивление скользящего контакта не является постоянной величиной, то в качестве характеристики электрических свойств скользящего контакта принимается не переходное сопротивление, а переходное падение напряжения при номинальном значении плотности тока.

Для каждой марки щеток существуют нижний и верхний пределы допустимых значений переходного падения напряжения. Если падение напряжения превысит верхний предел, то электрические потери в скользящем контакте будут выше номинальных, вызывая повышенный нагрев щеток. Если же падение напряжения упадет слишком низко, т. е. нарушится нижний предел переходного падения напряжения, то это может привести к искрению под щетками.

В табл. 2 даны пределы колебаний значений переходного падения напряжения (на пару щеток — для положительной и отрицательной щетки) для щеток различных групп. Для щеток отечественных марок эти значения приведены в табл. 11.

Различные условия эксплуатации оказывают следующее влияние на величину переходного падения напряжения в скользящем контакте:

1. При увеличении окружной скорости скользящего контакта (или же угловой скорости, т. е. числа оборотов в минуту) падение напряжения будет постепенно увеличиваться и по достижении критической скорости для щеток данной марки (см. подробнее ниже § 2,б) резко возрастет и станет неустойчивым. Таким образом, у быстроходных машин величина падения напряжения будет ближе к верхнему пределу (приведенному в столбце 6 табл. 2), а у тихоходных машин — ближе к нижнему пределу.

2. При увеличении давления (удельного нажатия) на щетку переходное падение напряжения будет уменьшаться.

3. При увеличении плотности тока переходное падение напряжения возрастает, причем в начале рост его происходит практически пропорционально повышению плотности тока. При дальнейшем повышении плотности тока начинает сказываться явление ионизации в переходном слое, сопровождающееся замедлением роста переходного падения напряжения.

4. При увеличении температуры скользящего контакта падение напряжения в нем уменьшается, причем особенно резкое уменьшение происходит в диапазоне температур 80—100° С. Повышение температуры до 150° С и выше вызывает повышенное утолщение оксидной пленки, образующей щеточный след на коллекторе, вследствие чего переходное падение напряжения, а с ним и электрические потери в скользящем контакте резко возрастают. Для работы при температуре скользящего контакта порядка 150° С следует применять специальные абразивные щетки (группы 3г) или же твердые угольно-графитные и электрографитированные (2б и 4в).

5. При наличии в атмосфере газов, способствующих окислению коллектора, падение напряжения резко возрастает. Наоборот, в условиях атмосферы, бедной кислородом (например, на большой высоте), оксидная пленка на коллекторе исчезает и переходное падение напряжения падает ниже допустимого предела.

Измерить переходное падение напряжения между щеткой и коллектором, в строгом смысле этого слова, в условиях эксплуатации на работающей машине нельзя; можно лишь снять потенциальную щеточную диаграмму [Л. 6, 7, 8], вид которой будет зависеть от целого ряда причин местного значения, как, например, плотности тока, условий коммутации, окружной скорости, температуры, состояния поверхности скользящего контакта

и т. д. Между тем работников эксплуатации, особенно конструкторов машин, интересуют значения переходного падения напряжения в скользящем контакте, полученные при некоторых, вполне определенных значениях плотности тока, окружной скорост[и] скользящего контакта и удельного нажатия щеток на коллектор. Для получения указанных характеристик в лабораториях электроугольной промышленности применяются специальные коллекторные стенды.

Ниже приводится краткое описание методики определения переходного падения напряжения в лабораторных условиях. Указанные испытания производятся на короткозамкнутом, продороженном коллекторе с качающейся траверзой и с регулируемым числом оборотов, обеспечивающим окружную скорость до 25—30 *м/сек*. Биение и овальность коллектора не должны превышать 0,02 *мм*.

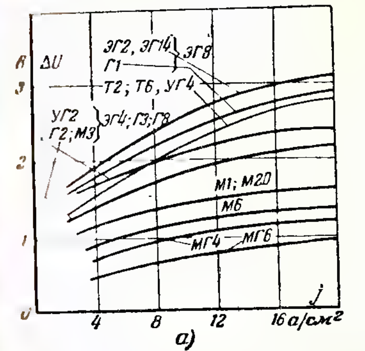
Перед испытанием с поверхности коллектора при помощ[и] стеклянной бумаги удаляется щеточный след, оставшийся от предыдущего испытания.

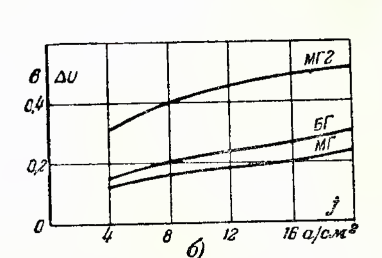
Щетки на коллекторе устанавливаются таким образом, чтобы по одному щеточному следу располагать одинаковое число поло[жительных и отрицательных щеток]... жительных и отрицательных щеток. Притирка щеток к поверх[ности] коллектора осуществляется при помощи стеклянной бумаги № 00, которая в виде ленты протягивается между коллектором и щетками. Применение наждачной бумаги не допускается вследствие абразивной способности зерен карборунда. По окончании притирки устанавливается требуемое нажатие щеток, коллектор приводится во вращение с окружной скоростью 15 *м/сек*, включается цепь нагрузочного тока и устанавливается номинальная плотность тока в испытуемых щетках.

В таком режиме происходит так называемая предварительная приработка щеток, продолжающаяся в течение 15—25 час. [Ц]елью этой приработки является пришлифовка щеток к поверх[ности] коллектора и образование политуры на коллекторе. П[о] окончании предварительной приработки щетки осматриваются и в случае удовлетворительной пришлифовки контактных поверхностей вновь ставятся на свои места, после чего в том же режиме начинается вторая приработка, длящаяся 50 час.; целью второй приработки является создание устойчивой политуры на коллекторе.

По окончании второй приработки все щетки, за исключением одной пары, приподнимают; оставшаяся пара работает при номинальной плотности тока в течение 5 мин., после чего при помощи вольтметра производят измерение переходного падения напряжения на пару щеток. Закончив испытание первой пары щ[е]ток, проводят испытания остальных пар, после чего определяется среднее значение переходного падения напряжения.

В тех случаях, когда проводятся специальные исследования электрощеток, то после определения падения напряжения в переходном контакте при номинальной плотности тока производя[т оп]ределение вольтамперной характеристики при разных плотно[стя]х тока (обычно каждые 3,5 *а/см²*). На каждой ступени осуществляется двухминутная выдержка. Опыты также проводятся на нескольких парах щеток.





Фиг. 1. Средние значения переходного падения напряжения на пару электрощеток в зависимости от плотности тока.

а — для электрощеток, не содержащих меди, и с содержанием меди менее 72%; *б* — для электрощеток с содержанием металла более 72%.

Средние значения переходного падения напряжения на пару щеток в зависимости от плотности тока для щеток различных марок приведены на фиг. 1.

в) Коэффициент трения

Потери на трение в скользящем контакте выражаются следующей формулой:

$$P_f = 9{,}81\,pS\mu v, \qquad (1)$$

где P_f — потери на трение, *вт*;
p — удельное нажатие щеток, *г/см²*;
S — общая площадь поперечного сечения щеток, *см²*;
μ — коэффициент трения щеток о коллектор;
v — окружная скорость скользящего контакта, *м/сек*.

Как видно из формулы (1), чем выше коэффициент трения, тем больше потери на трение; поэтому для каждой марки щеток существует некоторое предельное максимально допустимое значение коэффициента трения. Значения коэффициента трения для щеток различных групп приведены в табл. 2. Для отечественных марок щеток эти данные приведены в табл. 11.

Из табл. 2 видно, что наименьшими значениями коэффициента трения обладают щетки, предназначенные для быстроходных машин (группы 3б и 4а), что вполне согласуется с формулой (1), так как, чем выше v, тем ниже должно быть μ, чтобы потери на трение не вышли из допустимых пределов. Для группы щеток 2б, обладающей самым высоким значением коэффициента трения, допускаются самые низкие окружные скорости.

Из формулы (1) также видно, что для машин с большим количеством щеток (большая S) также должны применяться

щетки с низким коэффициентом трения. Много щеток ставится обычно на низковольтных машинах, требующих применения металлографитных щеток. Для щеток этих марок допускаемое значение коэффициента трения, как правило, не превышает 0,20 и лишь в отдельных случаях достигает 0,25.

Нижнего предела допустимых значений коэффициента трения для щеток не существует; чем ниже коэффициент трения, тем лучше. В действительности, однако, щетки с коэффициентом трения ниже 0,10 встречаются редко, так как под такими щетками обычно образуется так называемая «воздушная подушка», т. е. создается некоторое избыточное давление воздуха, которое с одной стороны, воздействует на уменьшение коэффициента трения, а с другой стороны, способствует возникновению искрения под щеткой вследствие механических причин. Явление это наблюдается, например, на щетках марки ЭГ2.

У некоторых экземпляров твердых угольно-графитных щеток, например марок Т2 и Г1, наблюдается обратное явление — некоторый присос щеток к коллектору, что вызывает увеличение коэффициента трения до 0,4—0,5; это явление сопровождается уменьшением искрения вследствие механических причин.

Оба явления — и «воздушная подушка» и «присос» — ухудшают работу щеток.

Различные условия эксплуатации оказывают следующее влияние на величину коэффициента трения:

1. С увеличением окружной скорости коэффициент трения щеток обычно уменьшается; исключение составляют щетки, обладающие свойством «присасываться», у которых с увеличением окружной скорости коэффициент трения возрастает, что является совершенно ненормальным.

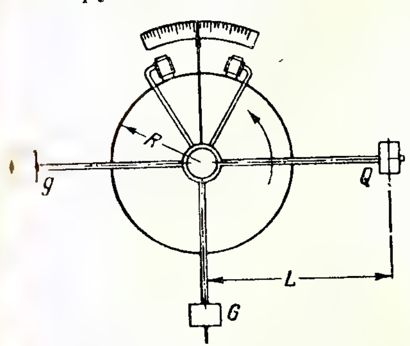
2. С увеличением плотности тока коэффициент трения несколько уменьшается.

3. С увеличением температуры скользящего контакта (особенно свыше 80° С) коэффициент трения уменьшается; однако при дальнейшем ее повышении коэффициент трения начинает снова расти (вследствие испарения жидкостной пленки с коллектора).

4. Состояние окружающей среды сильнейшим образом влияет на величину коэффициента трения. При наличии в воздухе дыма и пыли коэффициент трения может возрасти в несколько раз.

Ниже приводится краткое описание методики определения коэффициента трения щеток о коллектор. Эти испытания производятся на том же коллекторном стенде, на котором определяются переходные падения напряжения в щетках.

Опыт производится обычно непосредственно после определения переходного падения напряжения в щетках, для чего все щетки приподнимаются, освобождается качающаяся траверза с испытуемыми щетками и при некоторой заданной окружной скорости коллектора (например, при 15 *м/сек*, как предусмотрено ГОСТ 2332-43 для проведения типовых испытаний щеток) устанавливается стрелка траверзы в нулевое положение передвижением на рейке регулировочного груза Q (фиг. 2). После этого все щетки опускаются, включается нагрузочный ток и передвижением груза Q по рейке вновь устанавливается стрелка на нуль.



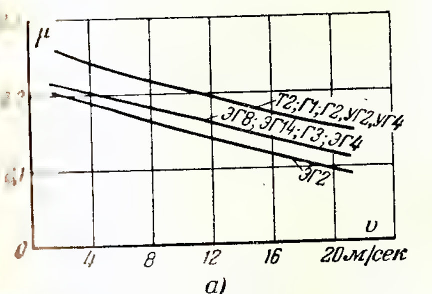
Фиг. 2. Коллектор с качающейся траверзой.

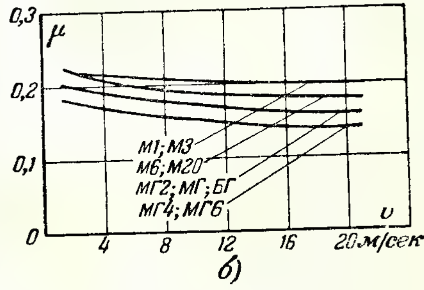
В таком положении при заданной окружной скорости коллектора щетки работают в течение 5 мин. Через 5 мин. фиксируется величина груза Q и расстояние L между серединой груза Q и осью вращения коллектора. Коэффициент трения вычисляется по формуле

$$\mu = \frac{QL}{pSR}, \qquad (2)$$

где R — радиус коллектора, *см*;
Q — вес передвижного груза, *г*;
L — расстояние между центрами коллектора и груза;
p — удельное нажатие щеток, *г/см*^{2};
S — площадь поперечного сечения щеток, *см*^{2}.

Как видно из формулы (2), коэффициент трения размерности не имеет.





Фиг. 3. Средние значения коэффициента трения электрощеток различных марок в зависимости от окружной скорости скользящего контакта.

Зависимость коэффициента трения от окружной скорости для электрощеток различных марок приведена на фиг. 3.

г) Износ щеток

Максимально допустимые значения износа щеток для различных групп приведены в табл. 2, а для щеток отечественного производства — в табл. 11. Как указывалось, значения износа щеток соответствуют значениям плотности тока, окружной скорости и удельного нажатия щеток, приведенным в тех же таблицах.

Обычно работники эксплуатации стремятся получить щетки с возможно более низким износом. Следует учитывать, однако, что если щетка будет изнашиваться очень мало, то она может

вызвать повышенный износ коллектора (см., например, группу 2б, табл. 2). Одной из главных причин, вызвавших появление дорогих и сложных в изготовлении электрографитированных щеток, является их свойство сравнительно мало изнашивать коллектор, несмотря на то, что сами щетки также обладают малым износом.

Различные условия эксплуатации оказывают следующее влияние на величину износа щеток.

1. С увеличением окружной (а также угловой) скорости скользящего контакта износ щеток разных марок повышается по-разному; чем выше износ у щеток данной марки или группы марок, тем сильнее он повышается при увеличении скорости.

Для щеток групп 2б и 4в увеличение окружной скорости почти не вызывает повышения их износа.

Для щеток групп 1г, 2а, 3в, 3д и 4б износ повышается с увеличением оборотов незначительно.

Для щеток групп 1в, 3а, 3б, 3г и 4а увеличение окружной скорости вызывает заметное повышение износа.

Для щеток групп 1а, 1б увеличение окружной скорости сопровождается настолько сильным повышением износа щеток, что он становится основным фактором, ограничивающим окружную скорость для щеток этих групп.

2. При увеличении удельного нажатия щеток износ их также повышается не в одинаковой степени для разных марок щеток, причем зависимость остается аналогичной приведенной выше для окружных скоростей.

3. Напряжение машины, а также степень трудности коммутации оказывают влияние на износ щетки. На машинах повышенного напряжения, а также с затрудненной коммутацией износ щеток будет всегда несколько выше, чем на машинах с облегченными условиями работы, даже в случае отсутствия искрения, вызванного электрическими причинами. Практически, однако, возрастание износа щеток с повышением напряжения будет незначительно, так как для подобных машин применяются щетки с малым износом (группы 2б, 4в).

4. Плотность тока оказывает такое же влияние, как и окружная скорость. Следует только указать, что при работе щеток без тока износ бывает очень значительным. Наличие небольшого тока вызывает резкое понижение износа, однако при последующем увеличении плотности тока износ щеток возрастает: для групп 1а и 1б, например, износ щеток возрастает настолько сильно, что становится основным фактором, ограничивающим плотность тока для щеток этих групп.

5. Температура мало влияет на износ; однако при возрастании температуры свыше 150° С износ металло-графитных щеток может резко возрасти, что и является главным препятствием для применения этих щеток при таких температурах.

6. Толчкообразная нагрузка увеличивает износ щеток. Механические толчки могут привести к скалыванию краев щеток, что

...ставляет нередко заменять угольно-графитные щетки электрографитированными; толчки тока (например, в стартерах, тяговых двигателях) вызывают появление искрообразования, часто приводящего к резкому возрастанию износа щеток.

7. При наличии в воздухе дыма и пыли, в особенности абразивных частиц, износ щеток может резко возрасти.

д) Износ коллектора и колец

Вследствие трудности измерения, а также вследствие недостатка данных испытаний по отдельным маркам щеток в таблицах технических характеристик щеток отсутствуют конкретные цифры значений износа коллектора или колец. Можно перечислить целый ряд причин, вызывающих износ коллектора: искрение под щетками, чрезмерная твердость щеток, наличие в щетках абразивных веществ, низкая твердость материала коллектора, вредное химическое воздействие окружающей атмосферы, прохождение тока по скользящему контакту и т. п.

Из этих причин последние три не зависят от щетки. Об искрении и мерах его устранения будет сказано ниже. Очень твердые щетки применяются обычно для коллекторов с низкой окружной скоростью, подверженных загрязнению и почернению; в этом случае щетки, не вызывая сколько-нибудь значительного износа коллектора, оказывают все же абразивное действие, очищая поверхность коллектора от загрязнения. Некоторые фирмы выпускают специальные абразивные щетки, служащие для очистки коллектора при высоких окружных скоростях (эту задачу не могут выполнить твердые угольно-графитные щетки, пригодные только для низких окружных скоростей). В этом типе щеток абразивное вещество вводится в материал щетки в виде микроскопических частиц, что обусловливает равномерный, весьма небольшой износ коллектора. Износ, вызванный абразивными действиями, может быть замечен даже при работе со сравнительно мягкими щетками, содержащими частицы карборунда, вследствие, например, недостаточно высокой температуры графитации электрографитированных щеток.

В табл. 2 дана качественная оценка степени износа коллектора, вызываемого щетками различных групп, а в тексте приведены ориентировочные цифровые значения.

е) Искрение вследствие механических причин

Склонность щеток к искрению по механическим причинам, называемому в дальнейшем для краткости «механическое искрение», не имеет ничего общего с искрением, обусловленным чисто электрическими причинами; между тем в эксплуатации их часто смешивают.

Механическое искрение чаще всего наблюдается в результате ...ших причин, не зависящих от материала щетки; бой коллек-

тора, выпучивание отдельных пластин коллектора, недостаточно плотная посадка щеток в щеткодержателях, неправильный угол наклона щеток (в случае применения реактивных щеткодержателей) и т. п. Однако механическое искрение может наблюдаться и на машине, не имеющей внешних механических дефектов. Дело в том, что при вращении коллектора может иметь место вибрация щетки, аналогичная вибрации скрипичной струны, увлекаемой смычком. Роль смычка здесь играет коллектор, а роль струны — щетка. Щетка получает как бы «удар трения» (по терминологии Нейкирхена [Л. 1]) и начинает вибрировать; вследствие этого возникает искрение, не связанное ни с какой коммутацией. Наиболее подвержены такому искрению твердые угольные щетки, в меньшей степени — угольно-графитные и в еще меньшей степени — мягкие графитные и электрографитированные. Явление это зависит от окружной скорости коллектора (колец) и от удельного нажатия на щетку. С коэффициентом трения явление это не имеет непосредственной связи; нередко наблюдается, что щетки с более высоким коэффициентом трения обладают меньшей склонностью к механическому искрению, чем щетки аналогичных марок с меньшим коэффициентом трения. Также не связано это явление с твердостью; твердые электрографитированные щетки обладают гораздо меньшей склонностью к механическому искрению, чем более мягкие угольно-графитные щетки. Вопрос этот еще недостаточно изучен и практически решается подбором соответствующей марки щеток. Одной из возможных причин механического искрения электрощеток может явиться неправильно выбранный угол наклона щетки по отношению к коллектору или кольцу. В случае, если щетка расположена острым углом против хода коллектора, угол отклонения щетки от нормали коллектора должен быть порядка 30 -37,5°; при меньшем угле наклона щетка отойдет от передней стенки обоймы щеткодержателя и ее работа станет неустойчивой. При большем угле наклона щетка будет чрезмерно прижиматься к коллектору, что может привести к заклиниванию щетки.

В случае, если щетка расположена острым углом по ходу коллектора, угол отклонения щетки от нормали коллектора должен быть порядка 15°. При большем угле наклона щетка может заклиниваться. При радиально расположенных щеткодержателях отклонение их от этого положения не должно превышать 2 3°, так как в противном случае будет наблюдаться неспокойная работа щетки в щеткодержателе, что может явиться причиной механического искрения.

Различные условия эксплуатации оказывают следующее влияние на явление механического искрения щеток

1. Для каждой марки щетки существует некоторое предельное значение окружной скорости, при котором щетка начинает искрить; при дальнейшем увеличении скорости искрение резко возрастает. Это явление служит основным фактором, ограничивающим окружную скорость для щеток, не содержащих или

с низким содержанием меди (т. е. почти для всех групп щеток, кроме 1а, 1б и отчасти 1в).

2. При увеличении давления на щетку критическая окружная скорость возрастает, наоборот, при уменьшении давления механическое искрение возникает уже при самых низких окружных скоростях.

3. У реверсивных двигателей, а также у двигателей с толчкообразной нагрузкой, склонность щетки к механическому искрению выше, чем у двигателей с вращением в одну сторону и с постоянной нагрузкой.

ж) Искрение вследствие электрических причин

Склонность щетки к искрению вследствие электрических причин, называемая в дальнейшем для краткости «коммутационное искрение», является зависящей в ряде случаев от внешних причин.

Подробное рассмотрение коммутационных свойств щеток различных марок приведено ниже, здесь же остановимся на различных условиях эксплуатации, оказывающих влияние на искрение щеток вследствие электрических причин:

1. Увеличение окружной и угловой скорости само по себе не вызывает коммутационного искрения, если оно не связано с возрастанием напряжения между двумя соседними коллекторными пластинами машины или с ухудшением условий коммутации

2. При увеличении давления на щетку коммутационное искрение возрастает (в противоположность механическому искрению) вследствие уменьшения переходного сопротивления скользящего контакта.

3. С увеличением напряжения между двумя соседними пластинами коллектора склонность щеток к коммутационному искрению возрастает.

4. С увеличением плотности тока коммутационное искрение возрастает вследствие уменьшения переходного сопротивления скользящего контакта.

5. С повышением температуры коммутационное искрение возрастает вследствие уменьшения переходного сопротивления скользящего контакта.

6. В случае исчезновения оксидной пленки с коллектора (например, вследствие воздействия окружающей среды) коммутационное искрение возрастает, так как это явление сопровождается уменьшением сопротивления скользящего контакта.

7. В случае гладкой полировки коллектора коммутационное искрение уменьшается; ввиду этого для машин с затрудненными условиями коммутации следует применять щетки, полирующие коллектор

2. Условия, определяющие работу электрощеток в эксплуатации

а) Перечень условий

Вопрос применения той или иной марки щеток определяется в основном следующими девятью условиями эксплуатации и конструктивными данными машины:

1. Окружная (линейная) скорость скользящего контакта (коллектора, колец).
2. Угловая скорость (число оборотов в минуту, для малогабаритных быстроходных машин).
3. Удельное нажатие щеток.
4. Напряжение машины.
5. Степень трудности коммутации.
6. Плотность тока.
7. Температура скользящего контакта.
8. Характер нагрузки (спокойная, толчкообразная).
9. Состояние окружающей среды.

Рассмотрим в отдельности каждое из этих девяти условий с точки зрения его влияния на перечисленные в разделе свойства щеток.

б) Окружная скорость

Окружная скорость скользящего контакта ограничена:

1) для щеток с высоким содержанием металла (группы Iа, Iб и отчасти Iв) — износом щеток;

2) для остальных марок щеток (в особенности твердых угольно-графитных и электрографитированных) — механическим искрением.

Соображение об уменьшении потерь на трение при повышении окружной скорости также играет известную роль, в особенности для щеток с высоким коэффициентом трения; однако основной причиной ограничения окружной скорости является возникновение механического искрения.

Максимально допустимые значения окружной скорости для различных групп щеток, выраженные в *м/сек*, приведены в табл. 2, а для отдельных марок щеток отечественного производства — в табл. 11.

в) Угловая скорость

Угловая скорость скользящего контакта, т. е. скорость вращения коллектора (колец), выражаемая числом оборотов в минуту, влияет на работу щетки примерно так же, как и окружная скорость; однако оба эти явления не совпадают друг с другом и зависят от размеров машины. Следует также отметить, что как бы хорошо ни был отбалансирован ротор машин и отшлифован коллектор, все же бой коллектора и частота соударения щеток с пластинами коллектора с возрастанием числа оборотов будут все сильнее сказываться на работе щеток, усиливая механическое искрение и износ.

В табл. 2 (столбец 5) приведены значения максимально допустимой угловой скорости для щеток различных групп, по опытным данным, полученным при подборе электрощеток к быстроходным малогабаритным электромашинам. Трудности подбора электрощеток к машинам этого типа заключаются в том, что коллекторы этих машин часто имеют значительно большие центробежные усилия, чем коллекторы крупных тихоходных машин той же самой окружной скоростью скользящего контакта. Это обстоятельство затрудняет динамическую балансировку коллектора и способствует увеличению биений коллектора, выпучиванию отдельных коллекторных пластин и т. д. Кроме того, для быстроходных малогабаритных электромашин бой коллектора, а также частота соударения щетки с пластинами коллектора всегда выше, чем для крупных тихоходных машин с той же окружной скоростью. Вследствие этого для быстроходных малогабаритных электромашин со средними значениями окружных скоростей нередко приходится выбирать щетки таких марок, которые предназначены для работы при значительно более высоких окружных скоростях. Кроме того, удельное нажатие щеток должно быть при этом увеличено в два и более раза по сравнению с величинами удельного нажатия, применяемыми при работе щеток этих марок на крупных машинах с той же окружной скоростью.

Сравнивая значения окружной и угловой скоростей, приведенные в столбцах 4 и 5 табл. 2, можно заметить, что отношение значений угловой скорости n (*об/мин*) к значениям окружной скорости v (*м/сек*) колеблется в пределах 120—170, т. е.

$$\frac{n}{v} = 120 \div 170. \tag{3}$$

Подставляя сюда значение $v = \frac{\pi D n}{60}$ и выражая диаметр коллектора D в *мм*, получим

$$D \approx 120 \div 165 \text{ мм}$$

Таким образом, для коллекторов диаметром 120—165 *мм* можно выбирать марки щеток, руководствуясь значениями либо окружной, либо угловой скорости, так как обе эти величины в данном случае равноценны. Для коллекторов, диаметр которых превышает 165 *мм*, марки щеток следует выбирать, исходя из значений допустимой окружной скорости для щеток этих марок. Для коллекторов с диаметром менее 120 *мм* марки щеток следует выбирать, исходя из значений допустимой угловой скорости для щеток этих марок.

г) Удельное нажатие щеток

Удельное нажатие щеток имеет два предела: нижний и верхний.

Верхний предел удельного нажатия определяется тем, что при его превышении:

1) возрастают потери на трение (в особенности для щеток

с высоким коэффициентом трения, а также для щеток, работающих при высоких окружных скоростях);

2) повышается износ щеток (для групп 1а, 1б и вообще для щеток с большим износом);

3) увеличивается коммутационное искрение ввиду уменьшения переходного сопротивления скользящего контакта.

При уменьшении удельного нажатия щеток ниже некоторого предела контакт между щеткой и коллектором становится неустойчивым, что приводит к возникновению механического искрения.

При увеличении окружной скорости нижний предел удельного нажатия щеток повышается, а верхний понижается; для каждой марки щеток существует некоторая предельная окружная (а также угловая) скорость, выше которой щетка вообще не сможет работать, так как либо возникнет механическое искрение, либо (если увеличить удельное нажатие) чрезмерно повышаются износ щетки и потери на трение.

Обычно для щеток всех марок удельное нажатие колеблется в пределах 175—225 *г/см²*; в особых случаях (например, для небольших машин с высоким числом оборотов, а также для стартеров с кратковременным периодом работы) приходится повышать давление до 400 и даже до 600 *г/см²*, а для тяговых двигателей — до 800 и 1 000 *г/см²*.

д) Напряжение на якоре и на кольцах

Для щеток, работающих на кольцах роторов синхронных генераторов и двигателей, асинхронных двигателей и одноякорных преобразователей, напряжение источника тока не играет роли. Обычно напряжение это бывает порядка 120—230 *в* (доходя в ряде случаев до 600 *в*) и может сказываться лишь на увеличении искр в случае механического искрения. Однако если окружная скорость колец не превышает значений, допустимых для щеток данной марки, а удельное нажатие щеток будет лежать в допустимых пределах, то щетки искрить не будут, каково бы ни было напряжение цепи.

В случае же коллекторных машин напряжение на якоре самым непосредственным образом сказывается на работе щетки. Обычно с повышением напряжения машины возрастает среднее напряжение между двумя пластинами коллектора, а это, в свою очередь, способствует увеличению коммутационного искрения. Верхний предел напряжения коллекторных машин обусловлен именно искрением щеток.

В таблицах технических характеристик щеток, помещаемых в каталогах и стандартах на щетки, не даются значения допустимого напряжения для щеток разных марок, как это делается для окружной скорости, плотности тока и прочих величин, однако во всех каталогах для щеток каждой марки указывается область

применения, в том числе и ориентировочное значение напряжения машин.

Для различных групп щеточных марок допустимое напряжение машин приведено в столбце 7 табл. 2.

е) Коммутация

Трудности, встречаемые при работе щеток на коллекторе, связанные с явлением коммутации тока, рассмотрены в разделе 3 настоящей главы, посвященном роли электрощеток в процессе коммутации.

ж) Плотность тока

Как указывалось выше, от плотности тока в скользящем контакте зависит прежде всего величина переходного падения напряжения между щеткой и коллектором, а отсюда — электрические потери под щеткой, нагрев скользящего контакта, коммутационная способность щетки. Кроме того, при повышении плотности тока на щетку возрастает нагрев арматуры. Далее, при повышении плотности тока возрастает износ щетки; в особенности это сказывается на щетках с высоким содержанием металла, где износ возрастает почти пропорционально квадрату плотности тока.

Минимальный износ имеет место при небольших значениях плотности тока, порядка 1—2 *а/см²*.

Все эти соображения обусловливают верхний предел допустимых значений плотности тока. Существует, однако, и нижний предел для плотности тока. Этот предел обусловлен соображениями экономики. Чем меньше выбрана плотность тока, тем больше щеток приходится ставить на машину и тем больше потери на трение.

При уменьшении значений плотности тока ниже 5—6 *а/см²* эти потери начинают резко возрастать (следует напомнить, что здесь разбирается случай, когда сила тока машины остается неизменной, а плотность тока изменяется путем изменения числа щеток на машине).

Следует указать также, что по мере увеличения плотности тока происходит некоторое снижение коэффициента трения. Таким образом, плотность тока в скользящем контакте является одним из важнейших факторов, влияющих на все основные свойства щеток. Отчасти на основании лабораторных испытаний, но главным образом на основании наблюдений за работой щеток в эксплуатации, были выработаны рекомендуемые значения плотности тока, приводимые в таблицах каталогов.

з) Температура скользящего контакта

Как указывалось выше, щеточный след на коллекторе состоит главным образом из окислов, поэтому его сопротивление очень сильно зависит от температуры. Таким образом, влияние темпе-

ратуры сказывается в основном на величине переходного падения напряжения и на склонности щетки к коммутационному искрению. Есть целый ряд марок щеток, при работе которых коммутация проходит без искрения до тех пор, пока коллектор машины не нагрелся. Как только температура коллектора достигает 60—70° С, щетки начинают искрить. О таких щетках говорят, что они «термически неустойчивы». К ним относятся, например, мягкие электрографитированные щетки марки ЭГ-4; твердые же марки щеток, как угольно-графитные Т-2 или электрографитированные ЭГ-8, при нагреве коллектора не ухудшают своих коммутационных свойств. Чрезмерное повышение температуры коллектора (свыше 120—150° С) вызывает образование слишком толстой пленки на коллекторе, что является нередко причиной искрения. В этом случае иногда приходится применять специальные абразивные щетки, снимающие излишний слой «политуры» со щеточного следа.

Однако высокая температура коллектора создает серьезные трудности также и для низковольтных машин. На этих машинах применяются обычно медно-графитные щетки, у которых при повышении температуры отмечается повышение износа. Следует также отметить, что контактная поверхность этих щеток под влиянием нагрева окисляется и начинает плохо проводить ток. Заменить же медно-графитные щетки графитными не всегда представляется возможным из-за того, что переходное падение напряжения у графитных щеток выше, чем у медно-графитных.

Температура коллектора влияет также на состояние арматуры щеток. Нагрев арматуры обусловлен теплом, выделяющимся в арматуре при прохождении тока (особенно в месте перехода от щетки к проводнику), а также температурой коллектора. Чем выше нагрев коллектора, тем выше и нагрев арматуры при одинаковых потерях в ней. Нагрев щетки во время эксплуатации выше 125° С вызывает окисление места контакта токопровода со щеткой, что вызывает рост значения переходного сопротивления и быстрый вывод щетки из строя.

В целях облегчения условий работы щеток следует стремиться понижать температуру коллектора. Это достигается прежде всего уменьшением потерь под щетками путем установления наилучших значений плотности тока, удельного нажатия и тому подобных параметров, а также путем введения специальных мероприятий, как например, обдувкой коллектора.

На механическое искрение и величину износа щеток с малым содержанием меди или без меди температура коллектора практически не влияет.

и) Характер нагрузки

Различают машины со спокойной и толчкообразной нагрузкой. К машинам с толчкообразной нагрузкой относятся тяговые двигатели, различные специальные машины, а также сварочные генераторы. Толчкообразная нагрузка создает дополнительные

трудности для работы щеток. Во-первых, при этом сильно возрастает мгновенная плотность тока, что вызывает коммутационное искрение, подгар коллектора и даже круговой огонь. Во-вторых, резкое изменение числа оборотов машины нередко вызывает сильнейшее механическое искрение, которое иногда ошибочно принимается за коммутационное. Механические толчки иногда приводят к скалыванию краев щеток. Для борьбы с этими нежелательными явлениями нужно прежде всего тщательно подбирать марки щеток, прибегая иногда к регулированию нажатия щеток.

к) Состояние окружающей среды

Скользящий контакт весьма чувствителен к влиянию окружающей среды. Энергетики, работающие на химических предприятиях, хорошо знают, какое вредное воздействие на коллектор оказывают пары, например серной кислоты, присутствующие в атмосфере даже в небольшом количестве. Однако не менее вредное действие оказывает иногда пыль — в особенности состоящая из твердых частиц, вызывающая повышенный износ коллектора. Постепенное накопление медной или угольной пыли может вызвать круговой огонь на коллекторе. Повышенная влажность воздуха может вызвать коммутационное искрение. Чрезмерная сухость окружающей среды может вызвать исчезновение с коллектора влажной пленки, покрывающей тонким слоем все предметы, что приводит к резкому увеличению коэффициента трения. Наличие в воздухе соленой влаги (например, в приморских районах и на кораблях) может вызвать разъедание коллектора при длительной остановке машины, так как коллектор и щетка действуют при этом как гальваническая пара. В этом случае при длительной остановке машины щетки следует приподнимать в щеткодержателях [Л. 9].

3. Роль электрощеток в процессе коммутации

а) Общие положения

В настоящее время учение о коммутации складывается из ряда теорий, каждая из которых дает свой метод расчета коммутации, пригодный для электрических машин только с определенными характеристиками. Ввиду бурного развития электромашиностроения и создания новых типов машин с большими окружными и угловыми скоростями, с большими плотностями токов на скользящем контакте и затрудненными условиями коммутации потребовалось не только создание новых марок электрощеток, удовлетворяющих этим требованиям, но также и внесение значительных дополнений и изменений в существовавшую ранее теорию коммутации, что привело фактически к созданию новых теорий. Однако ни один из существующих методов расчета, вытекающий из соответствующих теорий, нельзя распространить на все типы электрических машин и на все марки электрощеток, не

впадая в серьезное противоречие с опытными данными. При тео-ретическом исследовании вопросов коммутации длительное вре-мя за основу принималась теория, в основу которой было поло-жено постоянство переходного сопротивления в скользящем кон-такте.

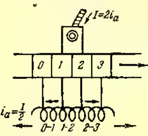
Эта теория остается справедливой для некоторых марок щеток и в настоящее время; однако для большинства марок щеток со-противление в переходном контакте не остается постоянным. Для этих щеток лучшие результаты расчета коммутации дает теория, основанная на постоянстве падения напряжения в скользяще[м] контакте

Данный раздел посвящен краткому рассмотрению современ-ного состояния вопроса о коммутации. Кроме того, рассматри-вается поведение электрощеток разных марок в процессе комму-тации, а также приводится методика определения коммутацион-ных свойств электрощеток, внедряемая в настоящее время в прак-тику лабораторий электроугольной промышленности

б) Теория постоянства сопротивления скользящего контакта

Напомним вкратце основные положения теории коммутации, основанной на постоянстве переходного сопротивления в сколь-зящем контакте.

При движении щетки по коллектору щетка осуществляет ком-мутацию, т. е. переключение, рабочего тока с одной коллекторной пластины на другую (фиг. 4). В то же время выражение «ком-мутация» относится также и к переме-не направления тока в коммутируемой секции. На фиг. 4 изображен момент перехода щетки с пластины 2 на пла-стину 1 (коллектор движется вправо, следовательно, щетка движется относи-тельно коллектора влево).



Фиг. 4. Коммутация щеткой рабочего тока.

Секции обмотки обозначены циф-рами, соответствующими пластинам коллектора. Когда щетка стояла на пластине 2, ток в секции 1—2 был на-правлен влево, когда щетка сойдет с пластины 2 и встанет на пластину 1, то ток в этой секции будет итти вправо. В момент, изображенный на фигуре, в секции происходит изменение направления тока.

Рассматриваемая теория исходила из предположения, что пе-реходное сопротивление между щеткой и коллектором не изме-няется или мало изменяется в различные моменты движения щетки по коллектору. Отсюда следует, что при переходе щетки с одной пластины на другую переходное сопротивление изменяет-ся обратно пропорционально площади контакта щетки с пласти-ной или, что то же, обратно пропорционально времени, считая от начала периода коммутации.

Обозначая:

r_1 — переходное сопротивление между набегающим краем щетки и пластиной 1 (при переходе щетки с пластины 2 на пластину 1) или, короче, — сопротивление набегающего края;

r_2 — по аналогии — сопротивление сбегающего края;

R — переходное сопротивление между щеткой и коллектором;

T — время замыкания щеткой пластин 1 и 2 (период коммутации);

t — время от начала периода коммутации;

i — ток в коммутируемой секции (мгновенное значение);

i_a — ток параллельной ветви обмотки якоря, получим соотношения

$$r_1 = R\frac{T}{t}, \tag{4}$$

$$r_2 = R\frac{T}{T-t}, \tag{5}$$

$$i = i_a\left(1 - \frac{2t}{T}\right). \tag{6}$$

Выражение (6) представляет собой уравнение прямой линии. Указанная зависимость графически представлена сплошной линией на фиг. 5. Это — так называемая прямолинейная коммутация. Если сопротивление коммутируемой секции R_1 сравнимо с сопротивлением R, то выражение (6) усложнится и примет вид:

$$i = \frac{i_a(T-2t)}{\frac{R_1}{R}\cdot\frac{t}{T}(T-t)+t}. \tag{7}$$

Фиг. 5. Коммутация при [illegible] сопротивлении [illegible] контакта. [illegible] коммутация сопротивлением

В этом случае будет иметь место ком-мутация сопротивлением или «криволи-нейная» коммутация, показанная на фиг. 5 пунктирной линией.

Процесс коммутации осложняется тем обстоятельством, что коммутируемая сек-ция представляет собой катушку, окру-женную со всех сторон сталью якоря и обладающую значительной самоиндукцией L, которая стремится препятствовать изменению тока в секции при коммутации со-противлением

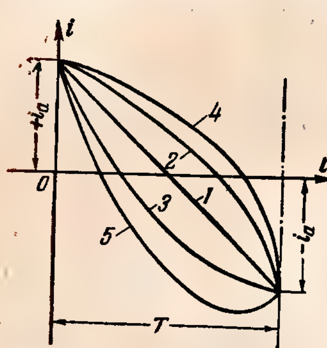
В этом случае в секции наводится реактивная э. д. с., рав-ная

$$e_r = -L\frac{di}{dt}. \tag{8}$$

Под влиянием этой реактивной э. д. с. в цепи закорачиваемой секции (секция *1-2*, пластина *1*, щетка, пластина *2*, секция *1-2*) возникает ток короткого замыкания $i_к$, равный:

$$i_к = \frac{e_r}{R\frac{T}{t} + R\frac{T}{T-t}}, \tag{9}$$

где знаменатель представляет собой сумму последовательно включенных переходных сопротивлений r_1 и r_2. Ток $i_к$ по принципу суперпозиции накладывается на основной ток. Суммарный ток i в коммутируемой секции при этом будет равен $i_п + i_к$, где $i_п$ — ток в случае прямолинейной коммутации, вычисленный по формуле (6). При наличии реактивной э. д. с. коммутация машины получается замедленной.



Фиг. 6. Изменение тока коммутируемой секции для различных условий коммутации.

1 — прямолинейная коммутация; *2* — замедленная коммутация при наличии e_r; *3* — ускоренная коммутация при наличии $e_к > e_r$; *4* — замедленная коммутация при наличии значительной e_r; *5* — значительно ускоренная коммутация.

Если в момент коммутации в секции каким-либо путем будет наведена дополнительная э. д. с. $e_к$, противоположная по знаку реактивной э. д. с. e_r, то действие этой последней будет в какой-то мере ослаблено. При достаточной величине $e_к$ может получиться даже ускоренная коммутация. На фиг. 6 приведены графики изменения тока i коммутируемой секции для различных условий коммутации.

Согласно теории постоянства переходного сопротивления плотность тока под щеткой пропорциональна тангенсу угла наклона кривой тока к горизонтальной оси времени. Отсюда следует, что в случае (*1*) фиг. 6 плотность тока под щеткой останется неизмененной и одинаковой как под сбегающим, так и под набегающим краем; в случае (*2*) плотность тока под сбегающим краем будет повышена; в случае же (*4*) плотность тока под сбегающим краем в момент окончания коммутации будет неограниченно возрастать, что вызовет искрение под сбегающим краем.

Случай (*3*) является идеальным. Здесь в момент окончания коммутации плотность тока под сбегающим краем упадет до нуля.

В случае (*5*) будет иметь место искрение под набегающим краем.

Самый простой способ наведения в коммутируемой секции э. д. с. $e_к$ — это сдвиг щеток с нейтрали; при этом у генератора надо сдвигать щетки по вращению коллектора, у двигателя — против вращения. Способ этот неудобен тем, что угол поворота щеточной траверзы приходится все время изменять, следуя за изменениями нагрузки. Кроме того, форма кривой $e_к$ в этом случае, как правило, совершенно не совпадает с формой кривой e_r, так что даже при равенстве средних значений обеих э. д. с. их мгновенные значения отнюдь не компенсируются взаимно. Ввиду указанных недостатков способ этот в дальнейшем уступил место другому способу компенсации реактивной э. д. с. посредством дополнительных полюсов, обмотка которых включена последовательно с якорем.

Дополнительные полюсы служат, во-первых, для компенсации реакции якоря в коммутируемой зоне и, во-вторых, для создания в той же зоне относительно слабого магнитного поля, для наведения в коммутируемой секции компенсирующей э. д. с.

Расчет коммутации согласно этой теории [Л. 10] сводится к тому, чтобы (исходя из прямолинейной коммутации) построить кривую реактивной э. д. с. e_r и по ней подобрать такую форму наконечника дополнительных полюсов (а также, конечно, ампер-витки), чтобы $e_к$ примерно компенсировала e_r.

Аналогичное назначение имеет компенсационная обмотка, закладываемая в пазы полюсных наконечников главных полюсов и включаемая подобно обмотке дополнительных полюсов последовательно с якорем машины. Посредством ее осуществляется компенсация только м. д. с. проводников якоря, расположенных под главными полюсами.

Что касается коммутационных свойств электрощеток, то они с точки зрения теории постоянства переходного сопротивления целиком определяются переходным сопротивлением R между щеткой и коллектором. Из формулы (9) следует, что чем выше R, тем меньше ток короткого замыкания $i_к$ и тем меньше вероятность возникновения искрения в момент окончания коммутации. Это обстоятельство и явилось причиной замены медно-графитных щеток угольно-графитными по мере возрастания напряжения машин постоянного тока.

Указанная теория дала возможность производить расчет коммутации электрических машин и наладку безискровой работы щеток, что ранее производилось только эмпирическим путем.

Вместе с тем, однако, в этой теории были обнаружены противоречия уже с момента ее возникновения.

Например, по этой теории условие безискровой коммутаций соответствует:

$$A = \frac{R_{КТ} \cdot T}{S_п \cdot L_T} > 1; \tag{10}$$

здесь $R_{КТ}$ — удельное переходное сопротивление щеток в конце периода коммутации;
L_T — динамический коэффициент самоиндукции;
$S_п$ — площадь контактной поверхности щеток;
T — период коммутации.

Рихтер, например, заметил [Л. 11], что условие $A > 1$ соблюдается далеко не всегда и что в ряде случаев машины работают без искрения даже при $A=0,1$. Он пытался объяснить это возможной непараллельностью краев щетки коллекторным пластинам. Это объяснение опровергается хотя бы известными опытами с шестиугольными щетками.

Действительной причиной неприменимости формулы (6) является тот факт, что переходное сопротивление щеток нельзя во всех случаях безоговорочно считать обратно пропорциональным площади контакта. В формулу безыскровой работы щеток должны входить величины действующих в коммутируемой цепи э. д. с.



Фиг. 7. Ток в коммутируемой секции.

Далее было обнаружено, что фактическое время коммутации меньше теоретического. К. И. Шенфер [Л. 12] приводит осциллограмму тока в коммутируемой секции, которую мы здесь воспроизводим (фиг. 7).

Нейкирхен в своей работе [Л. 1] указал, что в теории постоянства переходного сопротивления недостаточно рассмотрена роль щеток в процессе коммутации, а также уделено недостаточное внимание процессам, происходящим в скользящем контакте. В связи с этим им было введено понятие о трех зонах щеточного контакта (герцевская поверхность, пылевая зона, зона ионизации или иначе зона пробоя) и проведено рассмотрение щеток трех крайних марок (A, B и C), являющихся представителями трех групп щеточных марок (твердых угольно-графитных — марка A, натурально-графитных — марка B и электрографитированных — марка C), в котором он показывает, что процесс коммутации в каждой из трех марок протекает по-разному.

Далее он справедливо указывает, что ионная проводимость и электронная эмиссия должны играть существенную роль в процессе прохождения тока через основной слой скользящего контакта — политуру. Причиной этой эмиссии является высокая температура в отдельных точках контакта.

Нейкирхен обратил внимание также на роль жидкостной («романовской») оболочки на коллекторе в отношении образования политуры; он показал, как протекает электролиз при разных полярностях щеток и как он влияет на износ щеток и качество политуры. Им же было обращено внимание на тангенциальные вибрации щеток, которым он дал правильное физическое истолкование, как мгновенным импульсам или «ударам трения»,

показав, что вибрации эти имеют совершенно иную природу, чем обычные радиальные вибрации, вызванные частотой соударений щетки с пластинами коллектора или боем коллектора.

Следует указать, что Нейкирхен все же не дал какой-либо законченной теории коммутации. В его книге излагается ряд поправок и дополнений к теории постоянства переходного сопротивления, объясняющих, почему ею не всегда можно пользоваться; однако каких-либо новых формул или данных для расчета тока коммутации и реактивной э. д. с. им предложено не было.

Следует отметить также, что рассматриваемые им щетки марок A и C носят слишком абстрактный характер и почти не употребляются; так, марке типа A соответствуют щетки марок QS и SS, которые не характерны для твердых угольно-графитных щеток, марке типа C соответствуют щетки ЭГ4, RU5, E22. Эти щетки применяются относительно мало, и они также не являются характерными для группы ЭГ. Для группы ЭГ характерны твердые щетки, составляющие 90% всех ЭГ марок. Они имеют совсем другие свойства, чем A и C, и являются синтезом A и C, но отнюдь не средними между ними, так как сочетают в себе высокую окружную скорость, характерную для марки C, и хорошие коммутационные свойства, характерные для марки A. Кроме того, в работе Нейкирхена слишком мало уделено внимания металло-графитным маркам.

в) Теория постоянства падения напряжения в скользящем контакте

О. Г. Вегнер в своих работах [Л. 13, 14] показал, что предположение о постоянстве переходного сопротивления между щеткой и коллектором для угольных, графитных и электрографитированных щеток является верным только при малых плотностях тока, проходящего через щетку. Для плотностей тока выше 1—2 $a/см^2$ более правильным будет считать в первом приближении $\Delta U =$ const. Отсюда следует, что ввиду изменения сопротивления переходного слоя в зависимости от величины тока будет также неверным и применение метода суперпозиции для токов прямолинейной коммутации и добавочного тока.

При увеличении тока сопротивление контакта уменьшается у твердых щеток в меньшей степени, чем у мягких графитовых.

Исследуя искрообразование, Вегнер показал, что искрение наступает лишь тогда, когда при достаточном амплитудном значении средняя величина ΔU также достигает определенного значения, отмечая также, что искрение при этом сможет возникнуть только в том случае, если длительность импульса напряжения достаточно продолжительна. Интенсивность искрения связана, повидимому, с величиной электромагнитной энергии в коммутируемой секции в момент возникновения дуги, но не в середине периода коммутации, как ее обычно принимают.

Объемная плотность энергии в переходном слое, вызывающая высокие местные нагревы, весьма велика. Так, например, при

$\Delta U = 1$ *в*, $j = 10$ *а/см²* и толщине слоя 0,001 *мм* объемная плотность энергии составит 100 *квт/см³*.

Основываясь на экспериментальном материале, начиная с осциллограмм Иордана, приведенных еще Арнольдом, и кончая собственными опытами, О. Г. Вегнер показывает, что для угольно-графитных и электрографитированных щеточных марок сопротивление переходного слоя сильно зависит от тока и зависимость $\Delta U = f(j)$ для щеточного контакта имеет тот же вид, что и для электрической дуги. О. Г. Вегнер, так же как и Нейкирхен, показывает, что ΔU под щеткой положительной полярности, т. е. когда ток идет от щетки к коллектору, меньше, чем под щеткой отрицательной полярности, так как температура щеток всегда выше температуры коллектора и со щетки положительной полярности уносится больше ионов, чем с коллектора под щеткой отрицательной полярности. Следует указать, однако, что это явление в меньшей степени относится к графитным щеткам и совсем не имеет места в металлографитных щетках с большим содержанием металла и высокой теплопроводностью.

Повышенный износ щеток положительной полярности объясняется, с одной стороны, электролизом жидкостной пленки с выделением на этих щетках кислорода, окисляющего уголь, а с другой стороны, эффектом электроэрозии, когда электроны, срывающиеся с коллектора, «бомбардируют» поверхность щеток положительной полярности. Поскольку основной характеристикой свойств щетки по этой теории считается не переходное сопротивление, а падение напряжения, то в основу расчета коммутации необходимо положить вольтамперную характеристику щеток $\Delta U = f(j)$ как в статическом, так и в динамическом режиме.

Изменение величины и направления тока в секции, подвергающейся коммутации, с $+i_a$ на $-i_a$ должно совершаться за время, меньшее периода T перекрытия щеткой коммутируемой секции, т. е. за время kT, где $k < 1$, и равно 0,5—0,6. Момент начала коммутации при этом должен совпадать с моментом начала перекрытия щеткой пластины, к которой присоединена коммутируемая секция.

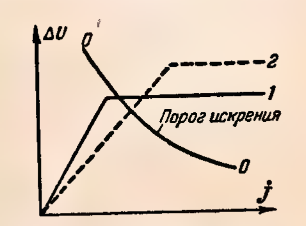
Для того чтобы не препятствовать такой ускоренной коммутации, щетка должна иметь характеристику $\Delta U = \text{const}$; однако во избежание неравномерного распределения тока по краям щеток ΔU должно все же несколько возрастать с увеличением j. Согласно теории постоянства переходного падения напряжения наилучшей щеткой будет такая щетка, у которой при медленном изменении j величина ΔU возрастает, при быстром же изменении j — остается неизменной.

Исходя из допущения, что переходное падение напряжения в скользящем контакте остается при коммутации неизменным, Вегнер дал ряд уравнений коммутации: уравнение тока i коммутируемой секции, уравнение наивыгоднейшего режима коммутации, уравнение коммутирующей э. д. с. и т. д.

В соответствии с этой теорией считается, что наилучшие условия коммутации будут созданы в том случае, если при наличии дополнительных полюсов основной токосъем перенесется в набегающую часть щетки, разгружая тем самым сбегающую часть. При этом плотность тока перед сбегающим краем спадает до значений, при которых переходное сопротивление щеточного контакта становится более или менее стабильным и не зависящим от плотности тока.

В этом случае безыскровая работа будет обеспечиваться только величиной переходного сопротивления; чем оно выше, тем лучше протекает коммутация.

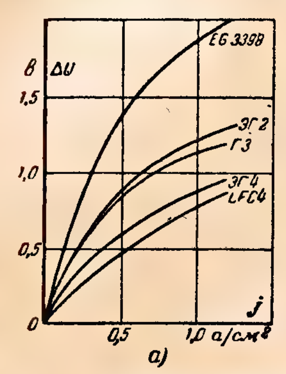
На фиг. 8 в схематизированном виде представлены вольтамперные характеристики щеток двух разных марок. У каждой из щеток вольтамперная характеристика сначала возрастает, а затем становится неизменной. Кривая $O—O$ изображает «порог» искрения, т. е. границу значений ΔU и j, выше которой щетки работают с искрением. Щетка *1* имеет более низкое установившееся значение падения напряжения, но зато более круто возрастающую начальную часть; таким образом, в области низких плотностей тока и относительно постоянного сопротивления переходного контакта сопротивление щетки *1* под сбегающим краем в момент окончания коммутации оказывается выше, чем у щетки *2*, хотя последняя имеет более высокое установившееся значение падения напряжения. Этим объясняется тот на первый взгляд парадоксальный факт, что щетки с более высоким переходным падением напряжения иногда коммутируют хуже, чем щетки с более низким переходным падением напряжения. Примером могут служить щетки марок ЭГ2, ЭГ14 и ЭГ8. Переходное падение напряжения щеток этих марок колеблется (при плотности тока 10 *а/см²*): для ЭГ2 — в пределах 2,15—3,35 *в*, для ЭГ14 — в пределах 2—3 *в* и для ЭГ8 — в пределах 1,9—2,9 *в*. Между тем, как хорошо известно из практики, наилучшими в отношении коммутации из перечисленных трех марок щеток являются щетки ЭГ8, щетки же ЭГ2 стоят в этом отношении на третьем месте.

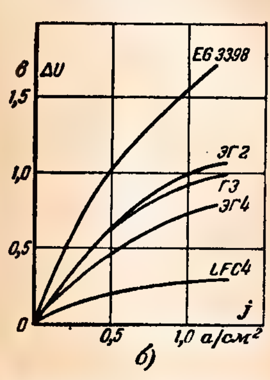


Фиг. 8. Сравнение вольтамперных характеристик щеток *1* и *2*.

Кроме того, как показывают опыты, между сбегающим краем щетки и пластиной коллектора после фактического окончания коммутации возникают кратковременные (пиковые) переменные э. д. с., максимальное значение которых может достигать нескольких вольт и даже десятков вольт. Таким образом, снятие щеточных вольтамперных характеристик в статическом режиме, т. е. при постоянном токе, является недостаточным для определения коммутационных свойств щеток. Ввиду этого О. Г. Вегнер предлагает производить снятие начальной части щеточной вольт-

амперной характеристики в динамическом режиме, т. е. на переменном токе промышленной частоты, значением 1—2% от рабочего тока. На фиг. 9 показаны полученные О. Г. Вегнером динамические характеристики для щеток нескольких марок при различных температурах. Сравнивая их по возрастанию крутизны динамических вольтамперных характеристик, т. е. по вели-





Фиг. 9. Динамические характеристики некоторых марок щеток.
а — при температуре 20—30° С; *б* — при температуре 70° С.

чине переходного сопротивления щеточного контакта при малых плотностях тока, эти марки располагают в следующем порядке:

LFC4; ЭГ4; Г3; ЭГ2; EG3398.

Как известно из опыта эксплуатации, по способности к безискровой работе в условиях затрудненной коммутации щетки этих марок располагаются в том же порядке.

Динамические характеристики снимаются на тех же стендах с короткозамкнутыми коллекторами, что и обычные статические характеристики. Таким образом, предлагается весьма простой способ определения коммутационных свойств электрощеток, не требующий какого-либо сложного оборудования.

На фиг. 9 приведена также динамическая характеристика тех же щеток при более высокой температуре скользящего контакта. При нагреве скользящего контакта до температуры порядка 70° С крутизна наклона динамической характеристики уменьшается в той или иной степени, причем чем больше графита содержится в щетке, тем сильнее это уменьшение. У щетки марки LFC4 крутизна динамической характеристики при нагреве до 70° С уменьшается в несколько раз. Этим и можно объяснить, что щетки этой группы не могут применяться на машинах, имеющих более или менее затрудненную коммутацию.

Краткий обзор работ в области теории коммутации будет неполон, если не упомянуть о работах М. Ф. Карасева, проводимых им в течение ряда лет в Томском электротехническом институте

инженеров железнодорожного транспорта. Результаты работ, изложенные в ряде статей [Л. 8, 15, 16 и 17], подтвердили ряд предположений, выдвигавшихся ранее разными исследователями о влиянии электролиза жидкостной оболочки на условия коммутации, о роли дополнительных полюсов, заключающейся не в компенсации реактивной э. д. с., а в переносе токосъема в набегающий край щеточного контакта. Подробно рассмотрев влияние ионизации на токопрохождение в скользящем контакте, М. Ф. Карасев связал этот вопрос с явлением электроэрозии, изученным Б. Р. и Н. И. Лазаренко.

В своих работах М. Ф. Карасев указывает, что при расчетах электрических машин следует придерживаться теории коммутации, основанной на постоянстве падения напряжения в щеточном контакте, так как эта теория значительно ближе к действительности, чем теория постоянства сопротивления переходного контакта.

Рассматривая механическое искрение, вызванное вибрациями щеток, М. Ф. Карасев указывает, что «сильнее вибрируют твердые сорта щеток». Вывод этот является справедливым для различных образцов щеток одной и той же марки, т. е. образцы с большей твердостью и, следовательно, более жесткие вибрируют сильнее, чем образцы той же марки с меньшей твердостью.

Применять же этот вывод для сравнения между собой щеток различных марок будет ошибочно. Нетрудно видеть, например, что щетки марки ЭГ2, обладающие одинаковой со щетками марок Г1 и Г2 твердостью, определяемой по методу вдавливания (а в отношении твердости по Шору даже превосходящие их), допускают работу при более высокой окружной скорости, а щетки марки ЭГ8, превосходящие по твердости щетки марки ЭГ4 в несколько раз, имеют одинаковую с ними допустимую окружную скорость.

В качестве показателя коммутационных свойств электрощеток М. Ф. Карасевым предлагается коэффициент K, зависящий в основном от ампервитков коммутируемой секции и от индуктивности секции. Находить этот коэффициент предлагается опытным путем для щеток каждой марки на специально им сконструированной опытной установке. Однако этот метод подлежит еще всестороннему исследованию в части возможного его использования для различных марок щеток одной и той же группы.

г) Краткие выводы по существующим теориям коммутации и роли щеток в процессе коммутации

Краткое рассмотрение современного состояния вопроса о коммутации и о роли щеток в процессе коммутации позволяет сделать следующие выводы:

1. Теория постоянства переходного сопротивления является, безусловно, правильной для электрощеток группы МГ с высоким

содержанием металла, для высокоомных электрощеток группы 3в (табл. 1 и 2) с вольтамперной характеристикой, приближающейся к прямолинейной, и для угольных или электрографитированных щеток, работающих на угольном коллекторе, на котором сопротивление переходного контакта неизменно.

2. Для основной массы электрощеток, а именно: для щеток группы МГ со средним и пониженным содержанием металла, для всех щеток групп УГ, ЭГ и Г (кроме высокоомных) в основу расчета коммутации машин должна быть положена теория постоянства переходного падения напряжения, так как расчетные данные при этом ближе совпадают с опытными, а переходное сопротивление этих марок щеток само является функцией тока.

3. Как известно, тенденция современного электромашиностроения заключается во все большем использовании активных материалов, уменьшении габаритов на единицу мощности, повышении окружных и угловых скоростей вращения коллекторов, в связи с чем к электрощетке как основной части скользящего контакта предъявляются высокие требования, в особенности в части коммутационных свойств. Как показала практика, нередко имеют место случаи, когда к хорошо, казалось бы, рассчитанной машине оказывается весьма затруднительным, а иной раз невозможным подобрать соответствующую ей марку щеток. Ввиду того, что явление коммутации изучено еще недостаточно, особенно в части определения коммутационных свойств электрощеток, выбор марки щеток при конструировании новых типов машин рекомендуется производить опытным путем еще до изготовления окончательного варианта машины, подбирая для нее оптимальные значения геометрических размеров щеток, нажатия и тому подобных параметров. Вместе с тем, однако, изложенные выше результаты ряда работ по коммутации, а также результаты наблюдений за поведением в эксплуатации щеток различных марок позволяют установить ряд общих положений о роли щеток в процессе коммутации, которыми следует руководствоваться как при оценке коммутационных свойств электрощеток при их подборе для эксплуатации, так и при разработке новых марок щеток.

4. Искрение под щетками вследствие электрических причин (коммутационное искрение) возникает в том случае, когда соотношение напряжения между краем щетки — обычно сбегающим краем — и соответствующей пластиной коллектора (краевым напряжением) и сопротивлением скользящего контакта вблизи краев щетки (краевым сопротивлением) станет выше некоторого предела различного для каждой щеточной марки.

Ориентировочные значения краевого напряжения и общая характеристика коммутационных свойств электрощеток отечественного производства даются в гл. 5, где для каждой марки щеток указывается допустимая для нее степень трудности коммутации.

5. Всякое увеличение краевого напряжения (например, вследствие повышения напряжения машины, вследствие сдвига токосъема к сбегающему краю щетки и т. д.) и всякое уменьшение переходного краевого сопротивления (например, вследствие увеличения плотности тока, повышения температуры скользящего контакта, уменьшения толщины оксидной пленки на коллекторе и т. д.) вызывают усиление искрения.

6. Чем больше содержание металла в щетках, тем больше они склонны к коммутационному искрению, так как частицы меди в щетках препятствуют образованию политуры на коллекторе, процарапывают ее и уменьшают переходное сопротивление скользящего контакта. Вольтамперная характеристика щеток становится прямолинейной, что затрудняет процесс коммутации.

7. Чисто графитные, а также мягкие электрографитированные щетки более пригодны для трудных условий коммутации, чем любые металлосодержащие щетки. Переходное краевое сопротивление чисто графитных и мягких электрографитированных щеток все же ниже, чем у твердых угольно-графитных и электрографитированных щеток.

8. Наилучшими по своим коммутационным свойствам являются твердые электрографитированные щетки, состоящие в значительной степени из таких трудно графитируемых веществ, как сажа, древесный уголь и т. д. Эти вещества способствуют тонкой полировке коллектора, что придает вольтамперной характеристике Г-образный вид. Как указывалось выше, такая характеристика является более благоприятной для коммутации, чем прямолинейная.

9. Для машин с еще более затрудненными условиями коммутации (коллекторные двигатели переменного тока, машины напряжением 1 000 *в* и выше, машины, работающие в условиях низкой температуры и недостатка кислорода и влаги) приходится осуществлять скользящий контакт особого рода, применяя высокоомные графитные щетки, изготовленные с применением особых связующих (например, бакелита), не дающих при обжиге проходящей коксовой решетки, применяя слоистые щетки и угольный коллектор. Во всех этих случаях в той или иной степени имеет место коммутация сопротивлением согласно формуле (7), а отсутствие искрения обеспечивается наличием высокого сопротивления в цепи тока короткого замыкания коммутируемой секции.

В этих случаях приходится уменьшать допустимую плотность тока на щетки (графитно-бакелитовые щетки, угольный коллектор) или же применять дорогие и сложные в изготовлении слоистые щетки.

Хороший результат дает надрезывание сбегающего слоя щетки в поперечном направлении, вызывающее удлинение пути тока [Л. 10]. Трудности изготовления слоистых щеток далеко не всегда окупаются соответственным улучшением коммутации. Проблему изготовления и применения слоистых щеток можно

считать решенной лишь в общих чертах только к настоящему времени; полного и окончательного разрешения она еще не получила.

Известно, что поперечный ток играет решающую роль в коммутационном искрении только для таких машин, как коллекторные двигатели переменного тока, тяговые двигатели и т. п., где разность напряжений между набегающим и сбегающим краями щетки достигает нескольких вольт и даже десятков вольт (в момент пуска, реверса и т. д.). Для этих машин применение слоистых щеток дает хорошие результаты и вполне себя оправдывает. Для машин же с коммутацией лишь более или менее затрудненной, а тем более с нормальной коммутацией применять слоистые щетки нецелесообразно.

Преимущество слоистых щеток перед высокоомными заключается в том, что:

а) для еще большего увеличения сопротивления на пути поперечного тока в некоторых случаях последовательно с каждым слоем щетки возможно включать сопротивления;

б) увеличение потерь происходит в самих щетках, а не в скользящем контакте, поэтому тепло рассеивается в воздухе через щеткодержатель и в меньшей степени передается коллектору, в то время как высокоомные щетки, обладающие, как правило, высоким падением напряжения в скользящем контакте, вызывают дополнительный нагрев коллектора.

Таким образом, для машин с особо трудными условиями коммутации, в особенности с толчкообразной нагрузкой, следует применять слоистые щетки, изготовленные из щеточных блоков ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ83 и ЭГ84. В этом случае, как показал опыт, уже двухслойная щетка дает значительный эффект, улучшая коммутацию.

Хорошие результаты дает также применение так называемых разрезных, т. е. двойных, щеток. В этом случае в гнездо щеткодержателя вставляется не одна, а две щетки; так, например, если гнездо имеет внутренние поперечные размеры 35 $\times$ 20 *мм* (т. е. 35 *мм* в аксиальном направлении и 20 *мм* — в тангенциальном), то целесообразно заказать двойную щетку, каждая из половинок которой будет иметь размер 35 $\times$ 10 *мм*. Каждая из половинок представляет собой самостоятельную щетку с отдельным токоподводящим кабелем; концы обоих кабелей соединены общим наконечником.

Подобные двойные щетки рекомендуется применять для уменьшения искрения как механического, так и коммутационного.

В ряде случаев щетки устанавливаются в отдельные щеткодержатели.

При широких и тонких щетках (например, сечением 40 $\times$ $\times$ 10 *мм*) рекомендуется применять двойные щетки, разрезанные в тангенциальном направлении (т. е. в данном случае в гнездо щеткодержателя должны вставляться две щетки размером 20 $\times$ 10 *мм* каждая).

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОЩЕТОК

1. Перечень основных свойств

Оценка качества щеточного полуфабриката, т. е. блоков после обжига или электрографитации, производится на основании испытаний щеточных блоков и определения соответствия результатов испытания физико-химическим свойствам. Основными физико-химическими свойствами, подлежащими проверке, являются:

а) удельное электрическое сопротивление;
б) твердость;
в) механическая прочность;
г) объемный вес и пористость;
д) химический состав;
е) структура.

Все эти показатели в какой-то степени связаны с основными эксплуатационными характеристиками электрощеток, однако, зная одни только физико-химические свойства щеток, нельзя определить свойства, какими эти щетки будут обладать в работе. Знание физико-химических свойств той или иной партии щеток все же нередко позволяет получить ценные указания на причину неудовлетворительной работы этих щеток. Вообще же физико-химические свойства служат в основном для оценки стабильности продукции; если имеются две партии щеток одной и той же марки, причем физико-химические показатели обеих партий совпадают, то можно с достаточным основанием предполагать, что и в эксплуатации обе партии будут вести себя одинаково.

Рассмотрение отдельных свойств электрощеток приводится ниже.

2. Удельное электрическое сопротивление

В табл. 2 приведены цифры удельного сопротивления для различных щеточных марок. Из таблицы можно видеть, что этот показатель для щеток различных марок принимает самые различные значения; у наиболее высокоомных марок удельное сопротивление в десятки тысяч раз выше, чем у низкоомных. Таким образом, удельное сопротивление может служить одним из главных показателей, по которым можно отличить одну марку щеток от другой и отнести ее к той или иной группе. Удельное сопротивление выражается в *ом·мм²/м*. Если оно выше 30, то можно ожидать, что щетка будет пригодна для машин с затрудненной коммутацией. Если оно ниже 20, то щетка почти наверняка будет непригодной для затрудненной коммутации. Если удельное сопротивление ниже 10, то следует ожидать, что в щетке содержится 25—50% металла (меди). Подобные щетки обладают несколько более низким переходным падением напряжения и допускают более высокую плотность тока, чем щетки графитных и угольно-графитных марок. Удельное сопротивление порядка 1 означает, что щетка содержит 60—75% металла. Щетки

с еще более низким удельным сопротивлением (порядка 0,1 — 0,5) обладают самым высоким содержанием металла.

Повышение удельного сопротивления щетки по сравнению с номиналом для данной марки может быть вызвано следующими основными причинами:

а) Щетка недостаточно плотна (это можно проверить определением объемного веса). Следует опасаться повышенного износа: с другой стороны, подобные щетки обычно обладают меньшей склонностью к механическому искрению.

б) Температура обжига (или графитации) была недостаточна. Это можно проверить одновременным определением твердости (см. ниже). Такие щетки могут иметь повышенное переходное падение напряжения, а также повышенную склонность к механическому искрению.

в) Щетка окислена (это относится только к медно-графитным щеткам). В этом случае следует опасаться чрезмерно быстрого износа щетки, вплоть до износа последней в течение лишь нескольких часов работы.

Понижение удельного сопротивления по сравнению с номиналом для данной марки может быть вызвано следующими основными причинами:

а) Щетка обладает повышенной плотностью; это может значительно усилить ее склонность к механическому искрению.

б) Температура обжига (или графитации) повышена; это может вызвать усиленный износ щетки, также коммутационное искрение.

Таким образом, по одному лишь удельному сопротивлению трудно судить о качестве щетки; то же относится к любому из остальных физико-химических свойств, взятых в отдельности. Только сопоставление нескольких свойств позволяет более или менее предугадать поведение щетки в работе.

Для определения удельного электрического сопротивления готовой щетки из нее вырезается образец в виде бруска (параллелепипеда). Желательно, чтобы длина бруска L была по крайней мере втрое больше, чем самый большой из поперечных размеров (ширина b или толщина h). Так, например, если длина образца 30 *мм*, то каждый из поперечных размеров должен быть не свыше 10 *мм*.

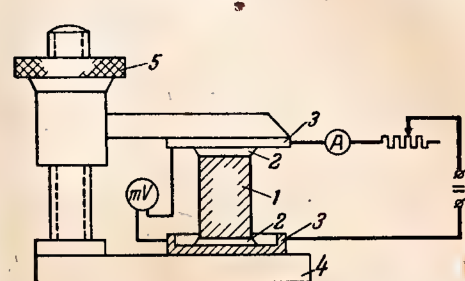
Для определения удельного сопротивления щеточного полуфабриката в качестве испытуемых образцов берутся обожженные или графитированные блоки. При наличии крупных блоков из них вырезаются образцы, имеющие следующие размеры:

ширина . . . . $b = 30$ *мм*
толщина . . . . $h = 15 \div 30$ *мм*
длина (высота) . . . . $L = 60$ *мм*

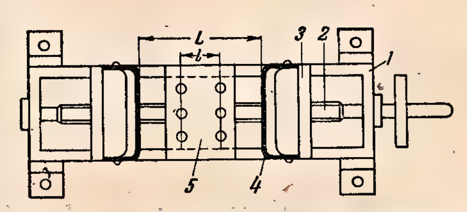
Измерение электрического сопротивления блоков или образцов производится методом вольтметра и амперметра на специальной установке с применением ртутно-оловянной амальгамы,

значительно снижающей переходное сопротивление между испытуемым образцом и токоподводящими контактными пластинами и обеспечивающей относительное постоянство контакта.

Схема установки изображена на фиг. 10. Испытуемый образец зажимается между двумя металлическими пластинами, поверхность которых покрыта слоем ртутно-оловянной амальгамы. Падение напряжения в образце измеряется милливольтметром (MB) непосредственно с токоподводящих электродов. Измеренное значение сопротивления блока складывается из действительного сопротивления блока и контактного сопротивления двух слоев амальгамы. Отсюда следует, что в случае применения амальгамы всегда получается несколько завышенное значение удельного сопротивления щеточных блоков. Как показали исследования, для щеток без примеси металла, имеющих относительно высокое удельное сопротивление, ошибка не превышает нескольких процентов, доходя в отдельных случаях (блоки крупных размеров, недостаточно чистая амальгама и т. д.) до 20—30%; для щеток с содержанием металла ошибка измерения может быть значительно выше, доходя почти до 100% для щеток марки МГ. Ввиду этого, а также ввиду общеизвестных неудобств в работе с ртутью в настоящее время осуществляется замена измерения сопротивления щеточных блоков с применением амальгамы измерением на установке с разделенными контактами, дающей более точные результаты.



Фиг. 10. Схема установки с амальгамой для измерения электрического сопротивления щеточных блоков и образцов.



Фиг. 11. Установка с разделенными контактами для определения электрического сопротивления блоков и образцов.

Схема установки изображена на фиг. 11. Токоведущие электроды 4, между которыми зажимается образец, состоят из нескольких слоев латунной или медной сетки, натянутых на покрытые резиной губки 3, сделанные из эбонита, текстолита или другого изоляционного материала. Подобное устройство позволяет осуществить более

или менее равномерный контакт между электродами и торцами образца.

Для уменьшения переходного сопротивления между торцами образца и сеткой последнюю рекомендуется подвергнуть гальваническому лужению или серебрению. Лужение горячим способом не рекомендуется, так как сетка при этом становится жесткой и хрупкой. Вместо сетки можно применить оловянную фольгу.

В отличие от установки с амальгамой в установке с разделенными контактами падение напряжения определяется не на всей длине образца L, а на участке l. Во избежание искажений рекомендуется, чтобы длина образца L была по крайней мере втрое больше, чем самый большой из поперечных размеров (b или h). Контакты напряжения, представляющие собой стальные иглы, расположенные по три с каждой стороны, выступают снизу из текстолитовой (или эбонитовой) пластинки *5*, где они укреплены на пружинах. Испытуемый образец кладется сверху на иглы и прижимается рукой к пластинке; при этом иглы входят в пластинку, прижимаясь с определенной силой к поверхности образца. После этого вращением маховика образец зажимается между токоподводящими электродами.

Измерение сопротивления образца может быть произведено посредством схемы вольтметра и амперметра, двойного моста, потенциометра или микроомметра. При этом контакты напряжения присоединяются к милливольтметру или же к соответствующим зажимам двойного моста, потенциометра или микроомметра.

В противоположность установке с амальгамой в установке с разделенными контактами всегда будет получаться несколько пониженное значение падения напряжения на измеряемом участке, а следовательно, и пониженное значение удельного сопротивления вследствие наличия переходного сопротивления между контактами напряжения и поверхностью образца. Как показал опыт, величина переходного сопротивления может достигнуть следующих значений: для непропитанных образцов щеток с содержанием металла — 0,1—0,2 *ом*, для пропитанных образцов щеток с содержанием металла — до 3 *ом*, для непропитанных образцов щеток, не содержащих металла, — 0,2—0,5 *ом*, для пропитанных образцов щеток, не содержащих металла, — до 15 *ом*.

Отсюда следует, что для получения результата измерения с ошибкой порядка 1% сопротивление милливольтметра, сопротивление соответствующих плеч двойного моста и т. д. должны быть порядка 1 000 *ом*.

Удельное электрическое сопротивление вычисляется по формулам:

а) для установки с амальгамой

$$\rho = \frac{Rbh}{L}; \tag{11}$$

б) для установки с разделенными электродами

$$\rho = \frac{Rbh}{l}, \tag{12}$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление, *ом·мм²/м*;
R — сопротивление образца на участке L или l, *мом*;
b и h — поперечные размеры образца, *мм*;
L — длина образца, *мм*;
l — длина измеряемого участка, *мм*.

Если измерение производится посредством двойного моста или микроомметра, то величина R определяется непосредственно; в случае же применения милливольтметра или потенциометра величина R (*мом*) вычисляется по закону Ома:

$$R = \frac{U}{I}, \tag{13}$$

где U — падение напряжения на измеряемом участке, *мв*;
I — сила тока, *а*.

3. Твердость

а) Твердость по Шору. Это вид испытания отличается исключительной простотой и быстротой выполнения, благодаря чему получил широкое применение во многих областях производства, в том числе и в производстве электрощеток. Определение твердости по Шору включено в ГОСТ 2332-43 на щетки для электрических машин как один из браковочных показателей качества электрощеток. В то же время определение твердости по Шору имеет ряд недостатков. Прежде всего следует указать, что склероскоп Шора показывает не твердость образца в общепринятом смысле, а отношение упругой деформации к суммарной (упругой и остаточной) деформации образца. Кроме того, при испытании электроугольных изделий на разных склероскопах могут получиться расхождения порядка 10—20% для твердых образцов и 50—100% для мягких образцов [Л. 20]. Причина такого расхождения заключается в том, что склероскопы тарируются по металлическим эталонам, поверхность которых при ударе бойка деформируется значительно меньше, чем поверхность электроугольных блоков. Тем не менее, метод Шора удержался до настоящего времени ввиду отсутствия другого метода определения твердости электрощеток.

б) Твердость по Бринелю. Этот вид испытания до сих пор применялся только для металло-графитных марок, так как последние обладают некоторой пластичностью и на них возможно получение ясно выраженного отпечатка при вдавливании шарика; для щеток, не содержащих металл, а также металло-графитных щеток с низким содержанием металла (50% и ниже) испытание на твердость по Бринелю не применялось вследствие невозможности точного определения диаметра отпечатка.

В настоящее время в электроугольной промышленности применяется разработанный авторами новый метод определения твердости, основанный на измерении глубины погружения стального шарика и позволяющий определять твердость электроугольных изделий любых марок — метод вдавливания.

Испытание на твердость по этому методу производится следующим образом. В приборе Роквелла вместо наконечника В (шарик $^1/_{16}''$) или C (алмазный конус) применяется стальной шарик диаметром 7,94 *мм* ($^5/_{16}''$) и нагрузка 60 *кг*. Взятые для испытания образцы должны иметь чистую, ровную поверхность, без вздутий, крупинок и тому подобных дефектов. Образец кладется плашмя на столик. Вращением штурвала столик поднимается вверх. Образец снизу нажимает на шарик, и обе стрелки индикатора начинают двигаться. Когда маленькая стрелка дойдет до красной точки, а большая стрелка будет направлена вверх и будет стоять на нуле шкалы C, то вращение штурвала надо прекратить. Поворотом рукоятки рычаг освобождается, и груз начинает давить на шарик (посредством рычага). Стрелка индикатора начинает двигаться обратно. Когда она остановится и рычаг опустится до конца, то надо поворотом рукоятки приподнять рычаг обратно.

Отсчет производится по шкале C индикатора.

Рекомендуется производить по 2—3 отсчета с каждой из обеих сторон образца и брать в расчет среднее значение.

Твердость вычисляется по формуле

$$H = \frac{1\,000}{100 - a_c}, \quad (1)$$

где H — твердость, *кг/мм²*;

a_c — отсчет по шкале C.

Разность $100 - a_c$ представляет собой глубину погружения шарика в образец; одно деление соответствует 0,002 *мм*. Для твердых образцов, у которых глубина погружения будет менее 10—15 делений (т. е. отсчет по шкале C будет свыше 85—90 делений), следует применять нагрузку 150 *кг*. В этом случае твердость вычисляется по формуле

$$H = \frac{2\,530}{100 - a_c}. \quad (2)$$

Для очень мягких образцов, у которых глубина погружения шарика будет свыше 100 делений (т. е. отсчет по шкале C будет отрицательным), следует применять другую подвеску весом 1 кг; в этом случае нагрузка будет 30 *кг*.

Твердость вычисляется по формуле

$$H = \frac{432}{100 - a_c}. \quad (3)$$

В табл. 2 приведены значения твердости как по Шору, так и по новому методу для различных групп щеточных марок. Как видно из таблицы, диапазон колебаний значений твердости, определенных по новому методу, значительно шире, чем определенных по Шору. Это в особенности заметно при испытании щеток различных партий одной и той же марки. Нередко бывает, что две партии имеют почти одинаковую твердость по Шору, но различную твердость по новому методу. Таким образом, метод вдавливания позволяет более точно оценивать качество полуфабриката и отличать одну марку от другой, чем метод Шора. Следует ожидать, что в ближайшее время в электроугольной промышленности определение твердости по Шору будет заменено определением твердости по методу вдавливания.

Подобно удельному сопротивлению твердость служит главным образом для определения степени соответствия испытуемых образцов техническим условиям для данной марки щеток.

Для щеток, не содержащих металла, а также щеток металлографитных марок с небольшим содержанием металла твердость по методу вдавливания позволяет судить о механической прочности щеток, что особенно важно для щеток, работающих на тяговых двигателях.

Из опыта эксплуатации щеток известно, что слишком твердые щетки могут вызвать повышенный износ коллектора, если твердость его недостаточна.

Сопоставляя значения твердости со значениями удельного сопротивления, можно определить возможные причины отклонения щеток от нормальных показателей (табл. 3).

Таблица 3

Сопоставление значений твердости и удельного сопротивления

	Пониженная твердость	Повышенная твердость
Повышенное удельное сопротивление	Недостаточная плотность щетки. Следует опасаться повышеиного износа	Недостаточная температура обжига (графитации) щетки. Щетка может иметь повышенное переходное падение напряжения и склонность к механическому искрению
Пониженное удельное сопротивление	Чрезмерно высокая температура обжига (графитации) щетки. Следует опасаться повышения износа щетки, а также склонности щетки к коммутационному искрению	Чрезмерная плотность щетки. Следует опасаться повышенной склонности к механическому искрению

Значения твердости для электрощеток отечественного производства приведены в табл. 11.

4. Механическая прочность

Испытания щеток на механическую прочность (на сжатие и изгиб) обычно проводятся только при различных исследованиях, но не при контрольных испытаниях массовой продукции. Это испытание не применяется в качестве контрольного вследствие сложности проведения испытания и необходимости порчи образцов. Вместо испытания на механическую прочность при контрольных испытаниях применяют испытание на твердость.

Механическая прочность имеет особенно важное значение для щеток, подвергающихся толчкам и сотрясениям, т. е. для щеток, работающих на тяговых двигателях. Следует указать, однако, что для оценки способности щетки противостоять механическим воздействиям — толчкам и ударам — недостаточно знать одну лишь механическую прочность щетки, требуется знать также ее упругие свойства.

При испытании на изгиб из щетки вырезаются образцы в виде бруска, обычно таких же размеров, как и для определения удельного сопротивления, т. е. поперечные размеры—10×10 *мм* и длина не менее 30 *мм*. Образец кладется на две опоры—нагрузка прикладывается посередине. Прочность на изгиб вычисляется по формуле

$$\sigma_u = \frac{1,5Pl}{bh^2}, \tag{17}$$

где σ_u — прочность на изгиб, *кг/см²*;
P — разрушающее усилие, *кг*;
l — расстояние между опорами, *см*;
b — ширина образца, *см*;
h — высота (толщина) образца в направлении приложения нагрузки, *см*.

Для испытания на сжатие вырезаются образцы в виде кубика, обычно размером 10 × 10 × 10 *мм*. В этом случае прочность на сжатие численно равна разрушающему усилию. В случае же применения образцов других размеров прочность вычисляется по формуле

$$\sigma = \frac{P}{bh}, \tag{18}$$

где b и h — поперечные размеры образца, *см*;
P — разрушающее усилие, *кг*.

При испытаниях на изгиб и сжатие образцы должны располагаться так, чтобы нагрузка прикладывалась в направлении прессования щетки, т. е. перпендикулярно большим плоскостям.

Прочность на изгиб щеточных образцов обычно в 1,5—3 раза меньше прочности на сжатие.

Значения прочности на сжатие для различных групп щеточных марок приведены в табл. 4.

Таблица 4

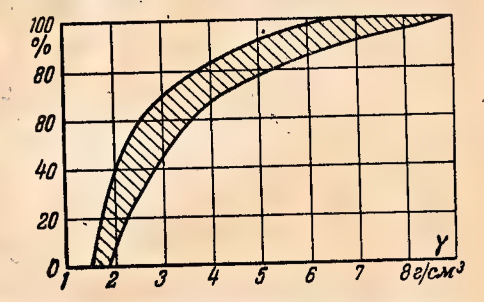
Прочность щеток на сжатие

Наименование групп	Прочность на сжатие, *кг/см²*
Мягкие электрографитированные и натуральнографитные, 3д, 4а	100—200
Графитные, 3а	120—250
Угольно-графитные и электрографитированные средней твердости, 2а	150—500
Металло-графитные с низким и средним содержанием металла, 1г	150—500
Твердые угольно-графитные и электрографитированные, 2б, 4в	300—800
Металло-графитные с высоким содержанием металла, 1а, 1б	500—2 000

5. Объемный вес и пористость

Различают объемный вес щеточных блоков, т. е. отношение веса блока к его объему, и плотность или удельный вес материала блока; по этим величинам определяется пористость тела.

По удельному весу материала щетки, зная, что удельный вес графита и угля равен примерно 2 *г/см³*, а удельный вес меди 8,9 *г/см³*, можно примерно определить процент содержания меди в щеточном блоке, не прибегая к химическому анализу. На фиг. 12 изображена зависимость между объемным весом щетки и содержанием в ней меди.



Фиг. 12. Зависимость между содержанием меди в медно-графитных щетках и их объемным весом.

Пористость щетки оказывает непосредственное влияние на ее свойства. Если щетка подвергается нормальному обжигу и будет достаточно механически прочной, то повышенная пористость только улучшает щетку, уменьшая ее склонность к механическому искрению и тем самым повышая предельно допустимую окружную скорость. Некоторые марки щеток именно по этой причине нарочно изготовляются с повышенной пористостью. Если же повышенная пористость связана с ослаблением структуры щетки, то такая щетка, разумеется, будет иметь повышенный износ. Слишком плотная щетка, обладающая низкой пористостью, почти всегда обладает склонностью к механическому искрению. Большей частью пористость щеток колеблется в пределах 10—30%.

Определение объемного веса щеток и блоков производится следующим образом.

Из щетки вырезается правильный брусок (параллелепипед) возможно большего размера. Если имеются неармированные блоки, то достаточно просто обточить блок.

Измеряются все три поперечных размера образца (b, l, h,) посредством микрометра или штангеля. Производится взвешивание образца на технических весах.

Объемный вес вычисляется по формуле

$$\gamma = \frac{P}{blh}, \tag{19}$$

где γ — объемный вес, $г/см^3$;
P — вес образца, $г$;
b, l, h — размеры образца по трем направлениям (длина, ширина и толщина), $см$.

Для определения плотности образец приводится в порошкообразное состояние (путем сверления или истолчения в ступе). Полученный порошок высыпается в пикнометр объемом 25 $см^3$, заполняя его до половины; после этого пикнометр заполняется чистым бензолом с известным удельным весом и выдерживается при температуре 20° С до установления постоянного уровня и прекращения выделения пузырьков воздуха, после чего доливают бензол до метки.

Обозначая:

a — вес пустого пикнометра, $г$;
b — вес пикнометра с бензолом (без образца), $г$;
c — вес пикнометра с образцом (без бензола), $г$;
g — вес пикнометра с образцом и долитым бензолом, $г$;
$P_1 = g - b$ — вес бензола, заполняющего пикнометр с образцом, $г$;
$P_2 = b - a$ — вес бензола в объеме пикнометра (т. е. вес 25 $см^3$ бензола при $t° = 20°$ С), $г$;
$P = c - a$ — вес образца (в порошке), $г$;
$d_1 = \frac{P_2}{25}$ — удельный вес бензола, $г/см^3$;
d — плотность порошка, $г/см^3$;

тогда

$$d = \frac{Pd_1}{P_2 - P_1}. \tag{20}$$

Пористость образца, т. е. отношение объема пор к объему образца, вычисляется по формуле

$$П = \frac{d - \gamma}{d}. \tag{21}$$

Вычисление пористости образца производится обычно лишь при проведении каких-либо исследований, так как требует выполнения сравнительно трудоемкого определения плотности, связанного к тому же с разрушением образца. Для массовых же испытаний достаточно производить определение объемного веса.

6. Химический состав

Для щеток, не содержащих металла, посредством химического анализа можно определить только наличие золы; установить наличие в щетке кокса, сажи, графита и тому подобных видов углерода химическим путем невозможно. Однако для определения качества щетки необходимо знать количество золы и, в особенности, характер золы.

Часто высказывается мнение, что высокая зольность обусловливает повышенный износ коллектора. В действительности вопрос не в количестве золы, а в ее качестве; так, в некоторых натурально-графитных марках щеток содержание золы превышает 10%, а в щетках марки LFC4 фирмы Карбон зольность доходит до 20%. Нередко зола вводится в щетку умышленно в виде весьма мелкого порошка для придания щеткам способности полировать коллектор. В таком ее виде зола совершенно безопасна для коллектора. Если же щетка содержит твердые абразивные частицы, например карбиды железа или карборунд, то достаточно содержания в щетке такой золы порядка 1—2%, чтобы вызвать сильнейший износ коллектора. Это явление может иметь место у щеток, подвергавшихся процессу графитации при недостаточно высокой температуре. При этом зола, состоящая в значительной части из двуокиси кремния (SiO_2), разлагается. Кремний испаряется, но не успевает уйти из щетки и оседает в щетке. Соединяясь с графитом или коксом, он образует карборунд (SiC). Ввиду этого при испытании щеток на зольность следует обратить внимание на характер золы, твердые, черные или зеленые, блестящие крупинки — это карборунд. Щетки с подобной золой не могут быть допущены к эксплуатации. Если же зола имеет вид мелкого, мягкого порошка, то такая зола опасности не представляет, сколько бы ее ни было в щетке.

Электрографитированные щетки обычно имеют зольность не свыше 0,3—0,5%. У твердых угольно-графитных щеток содержание золы бывает порядка 2—5%, доходя до 7—8%. У графитных и, в особенности, натурально-графитных щеток содержание золы может превышать 10%. Таким образом, по содержанию золы можно судить о принадлежности щетки к той или иной группе.

Для определения содержания золы в щетке берется проба весом от 2 до 3 $г$, измельчается, взвешивается и сжигается в муфельной печи при температуре 750—850° С. Остаток, представляющий собой золу, взвешивается. Процентное содержание золы в пробе определяется по отношению весов.

В случае определения зольности щеток с содержанием металла испытанию подвергается только углеродная составляющая, для чего медь удаляется путем растворения ее в серной кислоте, остаток промывается, высушивается до постоянного веса, взвешивается и сжигается в муфельной почи. По содержанию и характеру золы (табл. 5) могут быть определены исходные углеродные материалы щетки.

Таблиц

Содержание золы в щетке и материал щетки

Содержание золы, %	Характер золы (по виду)	Материал щетки
0,1—0,3% (до 1%)	Твердые крупинки черного или темнозеленого цвета (карборунд)	Электрографит
1—3% (до 5%)	Мелкий порошок темнокоричневого цвета	Кокс и тому подобн угольные материа
3—8% (до 10%)	Мелкий, мягкий порошок коричневого или розового цвета	Натуральный граф
Высокое (до 20%)	Мелкий порошок серого или коричневого цвета	Абразивная щетка

Как указывалось выше, наличие в щетках незначительного содержания карборунда или карбидов железа может привести к сильному износу коллектора; в то же время наличие любого абразивного вещества (в том числе и карборунда) в виде доста точно мелких частиц не приносит никакого вреда коллектору и кольцам, даже если содержание достигает 10% и выше.

Для щеток с содержанием металла производится определе ние следующих составных частей: углерода, меди, золы и прочих веществ; в число последних входит обычно свинец, реже цинк или олово. Содержание меди в щетке является основным показа телем, определяющим все или почти все свойства медно-графит ной щетки. С увеличением содержания меди в щетке свойства ее изменяются следующим образом:

удельное сопротивление и переходное падение напряжения уменьшаются;

склонность к коммутационному искрению резко возрастает;
склонность к механическому искрению несколько возрастает;
допустимая окружная скорость уменьшается;
допустимая плотность тока возрастает;
износ щетки повышается.

Как указывалось выше, можно приближенно определить со держание меди в щетке путем определения объемного веса щет ки (фиг. 12).

Более точное определение содержания меди в щетке должно быть произведено химическим путем. Взятая проба измельчается и погружается в раствор серной кислоты, в которой растворяется медь. После этого посредством электролиза определяется коли чество меди, а отсюда вычисляется процентное содержание меди в пробе. Метод этот также общеизвестен, и определение указан ным путем содержания меди может быть выполнено в любой более или менее оборудованной химической лаборатории. В этом случае полезно предварительно определить объемный вес образ ца, чтобы заведомо знать цифру ожидаемого содержания меди, так как при объемном весе 3,7 и выше можно уже ожидать нали чия в щетке свинца, что усложнит анализ.

Для уменьшения износа металло-графитных щеток с высоким содержанием металла в щетку добавляют свинец (до 10%). Содержание меди и свинца для металло-графитных щеток приведено в табл. 2.

Кроме перечисленных выше показателей химический анализ может установить наличие или отсутствие в щетке пропитки. Как указывается далее (в гл. 4), пропитка каким-либо смазывающим веществом улучшает качество щетки, уменьшая коэффициент трения, склонность к механическому искрению и гигроскопичность щетки.

В производстве электрощеток контроль пропитки осуществляется путем взвешивания щеточных блоков до и после пропитки. Отношение разности весов к весу блока, умноженное на 100, дает содержание пропитки в процентах. Вторичная проверка (ОТК и т. д.), а также определение пропитки щеток, изготовленных другими предприятиями, производится двумя методами: методом прокаливания и методом экстрагирования.

а) Метод прокаливания. Измельченная проба (весом 1 г) взвешивается и помещается в муфельную печь при температуре 750—850° С. Обычно вскоре появляются язычки пламени. После их исчезновения проба вынимается из муфельной печи, охлаждается и взвешивается снова. Отношение разности весов к весу пробы, умноженное на 100, дает содержание пропитки в процентах.

В случае отсутствия язычков пламени проба выдерживается в муфельной печи в течение 1 мин., после чего вынимается, охлаждается и взвешивается. Содержание пропитки определяется также по результатам взвешивания.

б) Метод экстрагирования. Измельченная проба взвешивается, выдерживается в течение 1—2 час. в нагретом растворителе, затем растворитель удаляется, проба высушивается и взвешивается снова.

Отношение разности весов к весу пробы, умноженное на 100, дает содержание пропитки в процентах. В качестве растворителя применяются следующие вещества: в случае наличия в щетке органических смазок — бензин, бензол, трихлорэтилен; в случае наличия в щетке металлического мыла — бензин; в случае наличия в щетке каких-либо солей, растворимых в воде, — вода.

7. Макро- и микроструктура щеток

Материал щетки должен быть однородным, без трещин и каких-либо посторонних включений. Проверка щеток на однородность производится следующим образом: щетка разрезается или даже просто разламывается, и макроструктура места излома или разреза рассматривается невооруженным глазом или через лупу.

Для получения микрошлифа образец последовательно шлифуется на шлифовальных камнях, затем на наждачном полотне

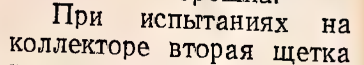
или бумаге нулевых номеров и, наконец, на полировальном круге, покрытом фетром, с применением пасты ГОИ. Подготовленная поверхность рассматривается через микроскоп и фотографируется.

Изучение микроструктуры щетки путем визуального рассматривания и фотографирования микрошлифа может дать весьма ценные указания о причинах недостатков в работе щеток.

На фиг. 13 приведены фотографии микрошлифов щеток марки МГ, изготовленных одна из чистого и другая из слегка окисленного медного порошка. Черный цвет соответствует графиту и порам, белый цвет — меди. Сравнивая обе фотографии, можно заметить, что частицы меди на фиг. 13,*а* (чистый порошок) имеют вид более или менее однородных зерен, хорошо спекшихся друг с другом, в то время как частицы меди на фиг. 13,*б* (окисленный порошок) прорезаны массой мелких трещин и пор. Отсюда следует, что вторая щетка, изготовленная из слегка окисленного порошка, имеет более слабую структуру, частицы меди у ней связаны слабее, чем у первой щетки, изготовленной из чистого порошка.

Фиг. 13. Влияние качества медного порошка на микроструктуру электрощеток марки МГ.

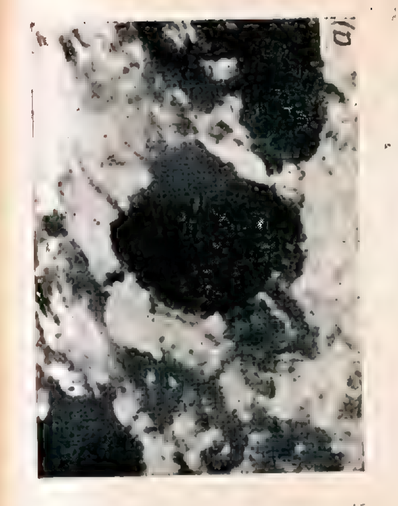
а — медный порошок чистый; *б* — медный порошок слегка окислен.

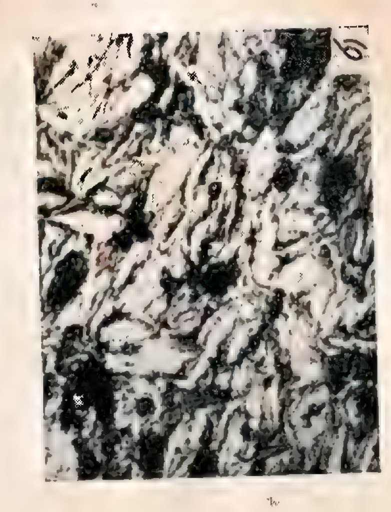


При испытаниях на коллекторе вторая щетка дала больший износ, чем первая. В то же время значения удельного сопротивления, твердости, объемного веса и содержания меди у обеих щеток совпадали.

Можно привести другой аналогичный случай со щетками марки М1.

Образцы двух партий щеток марки М1 имели совершенно одинаковые физико-химические и эксплуатационные характеристики, за одним лишь исключением: при испытаниях на короткозамкнутом коллекторе одна из партий искрила (механическое





Фиг. 15. Микроструктура графитных электрощеток.

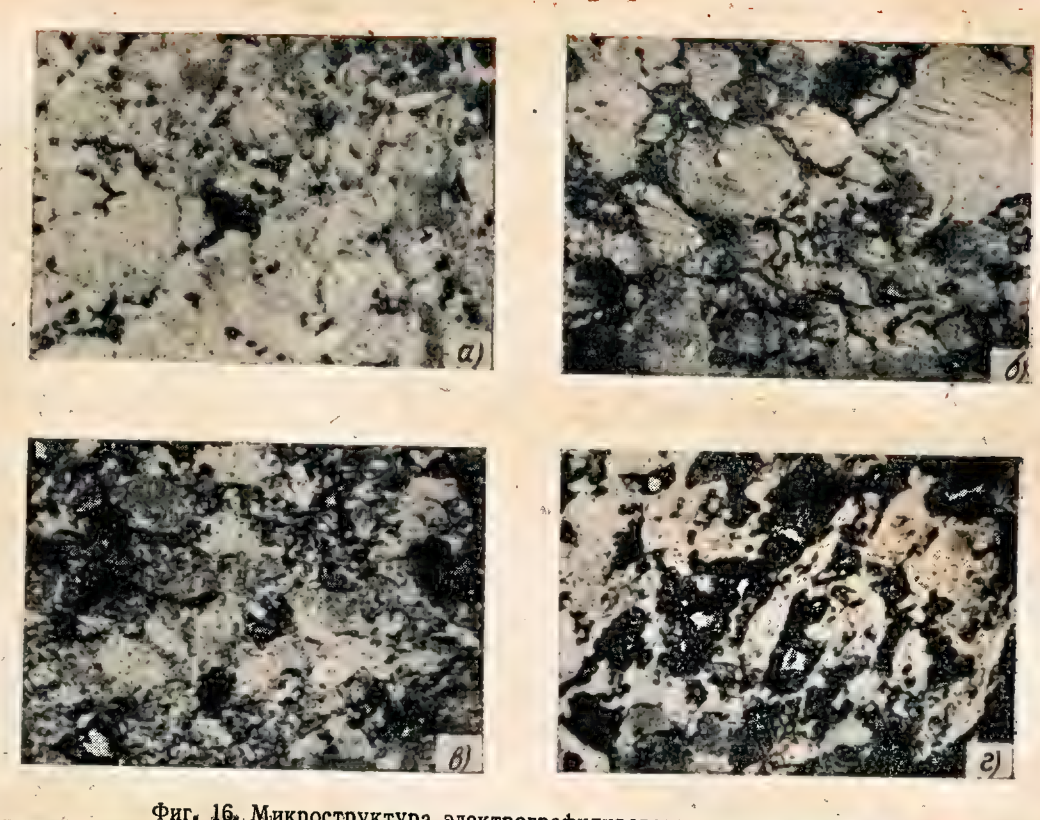
а — марка Г2; *б* — марка Г3.



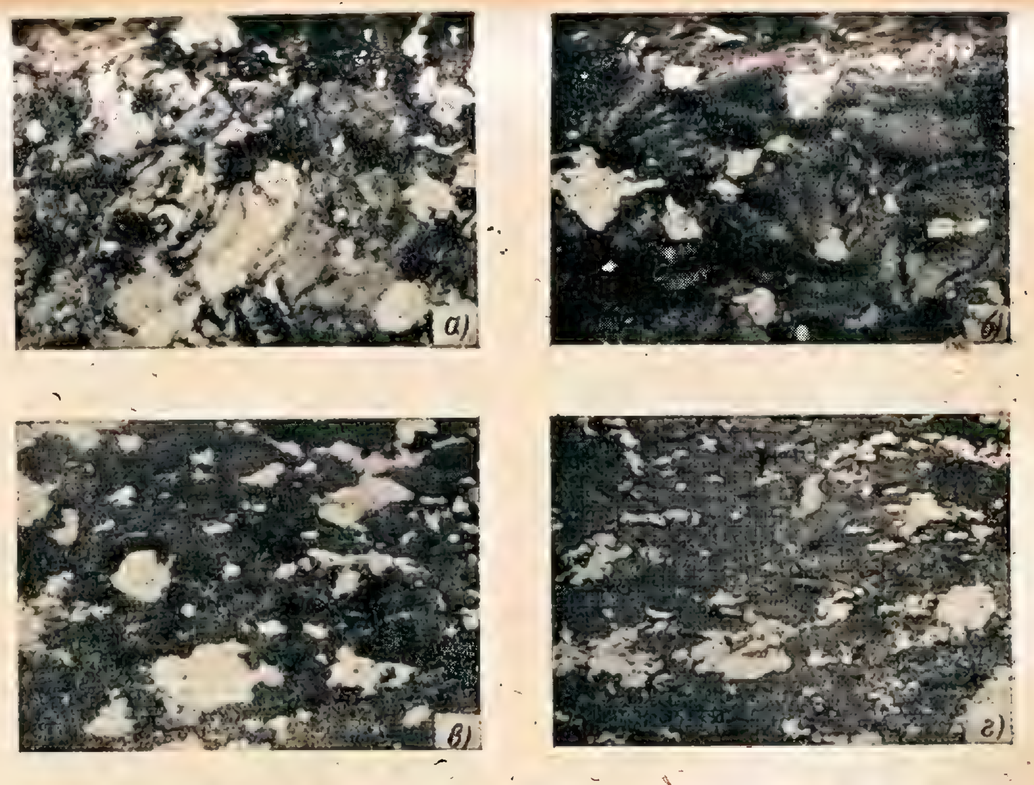


Фиг. 14. Микроструктура угольно-графитных электрощеток.

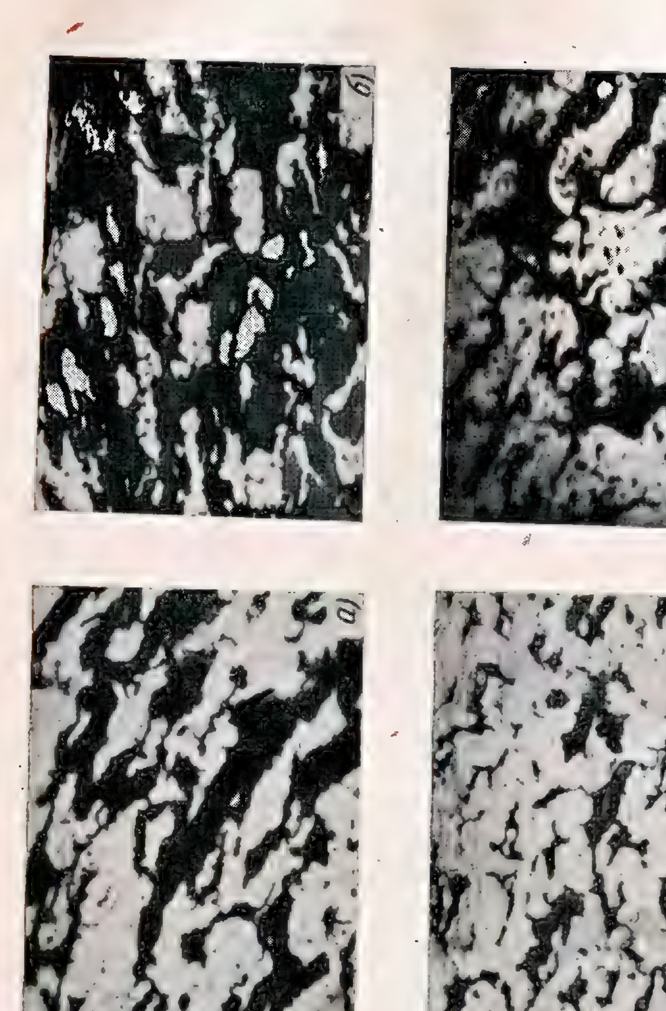
а — марка Т2; *б* — марка УГ2.



Фиг. 16. Микроструктура электрографитированных электрощеток;
а — марка ЭГ2; *б* — марка ЭГ8; *в* — марка ЭГ14; *г* — марка ЭГ84.



Фиг. 17. Микроструктура медно-графитных электрощеток с низким содержанием меди.
а — марка М1; *б* — марка М3; *в* — марка М6; *г* — марка МГС5.



Фиг. 18. Микроструктура медно-графитных электрощеток с высоким и средним содержанием меди.
а — марка МГ2; б — марка МГ4; в — марка МГС; г — марка БГ.

искрение). Фотографии микрошлифов показали, что искрившие щетки были изготовлены из более крупного медного порошка, чем не искрившие.

По виду микрошлифа можно в ряде случаев узнать направление прессования образца и отсюда установить, правильно ли вырезана щетка из блока.

Применяя прибор ПМТ-2, можно определять твердость в отдельных точках микрошлифа и, таким образом, получить более полное суждение о структуре электрощетки.

Микрошлифы образцов наиболее распространенных марок щеток приведены на фиг. 14—18. Во всех случаях микрошлифы представлены с торцов щеток. Увеличение 300.

У щеток металло-графитных марок с большим содержанием меди (МГ2, МГ4, МГС, БГ) черный цвет на фотографии соответствует графиту и порам, белый цвет — меди (фиг. 18). Свинец (МГС5 и МГС) и олово (БГ) на снимках обычно не видны.

У щеток с более низким содержанием меди (фиг. 17) графит на фотографиях имеет светлосерый цвет (М1, МГС5, М3) или темносерый цвет (М6). Поры имеют черный цвет. На этом фоне резко выделяются светлые частицы меди.

У щеток, не содержащих металла, поры на фотографии имеют резко черный цвет. Темно-серый цвет соответствует саже с коксом, образовавшимся из связующего материала, светлосерый цвет соответствует частицам исходного кокса (ЭГ2, ЭГ14, фиг. 16), древесного угля (ЭГ84, фиг. 16) и графита (УГ2, Г2, Г3, фиг. 14, ЭГ8, фиг. 16).

У щеток марок МГ2, МГ4 и МГС5 направление слоев различается довольно хорошо. У щеток марок УГ2, Г3 и М6 слоистость выражена не так ясно, а у щеток марок Т2, ЭГ2, ЭГ8, ЭГ14 и ЭГ84 слоистость неразличима. Это происходит потому, что у щеток, не содержащих графита (ЭГ14, ЭГ84) или содержащих его в незначительном количестве (Т2, ЭГ2, ЭГ8), анизотропия выражена весьма слабо. Для щеток подобных марок вопрос о соответствии направления прессования с установкой щеток на коллекторе не имеет такого важного значения, как для графитных и металло-графитных щеток. При применении графитных и металлографитных щеток они должны устанавливаться на коллектор таким образом, чтобы щеточные слои располагались параллельно коллекторным пластинам.

8. Определение марки электрощеток

Классификация электрощеток по группам может быть проведена по данным физико-химических свойств щеток.

Знание физико-химических свойств той или иной партии щеток нередко может быть ценным при выявлении причин неудовлетворительной работы этих щеток.

Ни одна фирма не выпускает электрощетки, физико-механические свойства которых имели бы строго определенное значение. Для каждого из свойств допускается известный разброс зна-

чений, что служит указанием и на некоторые колебания эксплуатационных свойств щеток. Для электрощеток отечественного производства допустимые пределы колебаний значений удельного сопротивления и твердости приведены в табл. 11, для щеток иностранных фирм часто приводятся лишь средние значения удельного сопротивления твердости (Сименс-Плания, Морганайт, Ле Карбон) или же вообще не приводятся (Нейшенел Карбон). Тем не менее разброс значений физико-химических свойств щеток этих фирм нисколько не меньше, чем разброс значений, приведенный в табл. 11.

Начинать определение марки щеток нужно с внешнего осмотра; уже по внешнему виду можно отнести щетки к той или иной группе:

а) Тяжелые щетки коричнево-розового цвета (или с оттенком бронзы) относятся к группе бронзо-графитных щеток (1а).

б) Такие же щетки, но с более медным оттенком, соответствуют группе 1б — медно-графитным щеткам с высоким содержанием меди.

в) По мере увеличения графита в щетках их цвет становится все более темным. Щетки с содержанием меди 50% и выше еще можно отличить от щеток, не содержащих меди, как по цвету (темнокрасно-коричневые), так и по весу; щетки же с содержанием меди до 25% (типа М3, S3 и т. д.) почти невозможно отличить на глаз от не содержащих меди.

г) Угольно-графитные и некоторые твердые электрографитированные марки (2а, 2б, 2в) не пишут по бумаге, щетки же графитные, натурально-графитные, а также мягкие и средней твердости электрографитированные (группы 3а, 3б, 3д, 4а, 4б) пишут по бумаге.

Далее нужно обратить внимание на структуру материала, из которого изготовлены щетки. Допускать в эксплуатацию щетки при наличии крупнозернистого строения, трещин и тому подобных дефектов не рекомендуется. Щетки должны изготовляться из плотного, однородного и мелкозернистого материала.

Затем следует выяснить, пропитан ли материал и чем именно. Наличие пропитки может исказить результаты химического анализа, поэтому прежде чем приступить к нему, следует выяснить наличие и характер пропитки.

После этого необходимо выяснить наличие в щетке меди, свинца и других металлов, а также установить содержание золы. Соответствующие методы анализа изложены выше.

Для более глубокого обследования желательно определять микроструктуру образца.

Ниже приводится несколько примеров определения марки щетки.

Пример 1. Имеются в наличии электрощетки незнакомой марки. По внешнему виду — черные, мягкие, пишут на бумаге и более всего походят на графитные или натурально-графитные щетки (мягкие электрографитированные имеют более серый оттенок).

Отсутствие пропитки, выявившееся при экстрагировании в бензоле, и содержание золы до 7% указывали на соответствие натурально-графитным щеткам. Однако определение удельного электрического сопротивления дало цифру 110 *ом · мм²/м*. Очевидно, это — высокоомные щетки группы 3в. Данные для них можно взять из табл. 2, а область применения — из табл. 1.

Окружную скорость можно принять порядка 35—40 *м/сек* (так как щетка по структуре относится к натурально-графитным, допускающим высокую окружную скорость).

Плотность тока 4—5 *а/см²*.

Ожидаемая величина переходного падения напряжения на пару щеток равна 3,5—4 *в*. Щетка может применяться на машинах с затрудненной коммутацией.

Пример 2. Щетка неизвестного происхождения, без марки. По виду — медно-графитная. Объемный вес 3,5; вероятно, щетка содержит 60—70% меди. Химический анализ подтверждает это предположение. Удельное сопротивление 30 *ом · мм²*. Последнее слишком велико для щеток этой марки; согласно табл. 2 подобные щетки должны иметь удельное сопротивление порядка нескольких *ом · мм²/м*. Следует опасаться, что зерна меди в щетке окислились; щетка может иметь большой износ и будет перегреваться. Применять эту щетку не рекомендуется.

Пример 3. Твердая черная щетка незнакомой марки. Зольность 0,8%, зола имеет вид мелкого коричневого порошка. Твердость по Шору 55. Удельное электрическое сопротивление 50 *ом · мм²/м*. Щетка может принадлежать либо к твердым угольно-графитным маркам (2б), либо к твердым электрографитированным (4в); однако в первом случае она допускает окружную скорость порядка 15 *м/сек* и плотность тока 5—8 *а/см²*, во втором случае она допускает окружную скорость до 50—60 *м/сек* и плотность тока 10 *а/см*. Характер золы заставляет предполагать, что это угольно-графитная щетка, сделанная из очень чистых материалов, и должна применяться в соответствии со щетками марки 2б.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЩЕТОК (КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ)

1. Общие положения

В царской России электроугольная промышленность была развита весьма слабо и к тому же находилась в руках иностранного капитала. Развитие отечественной электроугольной промышленности началось лишь после Великой Октябрьской социалистической революции. Базировавшаяся ранее почти исключительно на привозном сырье отечественная электроугольная промышленность в годы сталинских пятилеток освоила производство щеток на отечественном сырье и в связи с бурным ростом социалистической промышленности, и в частности электромашиностроения, получила новый мощный толчок для своего дальнейшего развития.

В настоящем разделе излагаются лишь основные данные по производству электрощеток, которые могут заинтересовать потребителей электрощеток. Более подробные сведения можно найти в книге, написанной коллективом инженеров под общим руководством А. С. Красильникова [Л. 3]. Разумеется, приводимые в кни-

ге данные несколько устарели, так как изменилась технология изготовления и рецептура щеточных марок, появились новые марки щеток и т. д., однако общие положения сохранили свое значение и по сей день.

2. Изготовление блоков электрощеток

Основные материалы, применяемые в производстве электрощеток, перечислены в табл. 6. Просеянные через сито порошки загружаются в мешалку и перемешиваются в течение примерно получаса, после чего в мешалку добавляется связующее вещество: смола, жидкий (расплавленный) пек или же смесь смолы с пеком, так называемый смолопек. Мешалка обогревается паром. Температура перемешиваемой массы достигает 110—130° С. Вторичное перемешивание (со связующим) продолжается примерно 2 часа (и выше в зависимости от марки щетки). Выгруженная и остывшая масса размалывается, просеивается через сито и прессуется в виде блоков (параллелепипедов) на вертикальных гидравлических прессах. Давление прессования составляет 1 500—2 500 *кг/см²*. Как указано в табл. 6, щетки марок МГ, МГС, БГ и МГ2 изготовляются без связующего, поэтому порошки этих марок прямо из мешалки направляются для прессования.

В литературе [Л. 3, 4] имеется описание как процесса прессования, так и устройства прессов.

Все без исключения марки щеток, перечисленные в табл. 6, подвергаются обжигу; щетки, не содержащие металла, а также щетки с пониженным содержанием меди — М3 и М20, подвергаются обжигу в кольцевых печах при температурах порядка 1 300° С. Щетки с высоким содержанием металла: МГ, МГС, БГ и МГ2, а также щетки марок МГС5 и МГС6 обжигаются в электропечах при температурах порядка 850—930° С. Щетки марок МГ4, МГ6, М1 и М6 обжигаются в кольцевых печах или в печи периодического действия при температурах порядка 1 100° С.

Кольцевая печь состоит из ряда камер, в которых находятся обжигаемые изделия. Печь отапливается газом, получаемым из газогенератора. Горящий газ направляется в одну из камер, при этом изделия в камере приобретают наивысшую температуру, предусмотренную режимом обжига. Из отапливаемой («огневой») камеры горячие продукты сгорания газа поступают в последующие камеры, отдавая им свое тепло, после чего удаляются через дымоход и трубу. Таким образом, температура каждой камеры постепенно повышается, так что к моменту, когда горящий газ переводится в очередную камеру, остается лишь поднять температуру этой камеры до требуемого значения и дать необходимую выдержку по времени, после чего горящий газ переводится в следующую камеру, а предыдущая камера начинает медленно остывать. Таким образом, в кольцевой печи горящий газ обходит поочередно все камеры; при этом всегда одна камера нагревается горящим газом, часть камер нагревается продуктами

Таблица

Основные материалы, применяемые в производстве электрощеток

Материал	В каком виде поступает на завод	Какой обработке подвергается	Величина частиц после просева, микрон	Для каких марок применяется
Медь	Порошок	Просев через сито	5—40	Все металло-графитные марки
Окись свинца	То же	То же	10—60	МГС, МГС5, МГС6
Олово	То же	То же	20—40 (10—80)	БГ, МГ2
Графит боготольский или тайгинский	То же	а) Прокалка (иногда), просев	10—45	МГ, БГ, МГС, МГ2, МГ4, М1, М3, УГ2, УГ4, Г1, Г2, Г3, ЭГ4, ЭГ5, ЭГ8, ЭГ9
		б) Графитация, просев	10—45	М6, М20, МГС5, МГС6, Г6, Г8
Графит Ногинский	То же	а) Прокалка (иногда) просев	5—50	Т2, Г1, Г2, ЭГ2, ЭГ2А
		б) Графитация, просев	5—50	Т6, Г6
Сажа	Порошок	Просев	1—3	Все щетки, не содержащие металла, кроме Г2, ЭГ2, ЭГ2А, ЭГ83, ЭГ84
Древесный уголь	В кусках	Размол на шаровых мельницах, просев	3—30	ЭГ83, ЭГ84
Кокс пековый и нефтяной	То же	Прокалка, размол на шаровых мельницах, просев	10—20 (5—80)	Т2, Т6, ЭГ2, ЭГ2А, ЭГ11, ЭГ12, ЭГ13, ЭГ14
Пек каменноугольный	То же	Расплавление		Почти все щетки, не содержащие металла
Смола	В жидком виде	Уваривание или препарирование		Все щетки кроме МГ, МГС, БГ, МГ2

сгорания газа, одна или несколько остывших камер разгружаются и вновь загружаются продукцией, часть камер остывает. Щеточные блоки, обжигаемые в кольцевых печах, помещаются в большие ящики, сложенные из огнеупорного кирпича, — так называемые кессоны. Для предохранения от обгорания и окисления блоки окружаются угольным порошком, получаемым в основном из размола бракованного полуфабриката различных угольных изделий. Обжиг длится примерно две недели, из них в течение одной недели производится подъем температуры, в течение другой недели — охлаждение. В начале подъем температуры производится медленно — по 5—10° в час;. затем по достижении температуры порядка 700° С—более быстро. Делается это для того, чтобы связующее успело превратиться в кокс (после удаления летучих частей связующего). Этот кокс должен связать частицы порошка в блоке. Если подъем температуры будет слишком быстрым, то выделение кокса будет недостаточным, а главное неравномерным; выделение же летучих частей, наоборот, слишком интенсивным. Эти явления, а главное — неравномерный прогрев блока (при быстром подъеме температуры), могут привести к образованию трещин в блоках.

Обжигу в электропечах подвергаются щетки, не содержащие связующего или содержащие его сравнительно мало; это дает возможность осуществить подъем температуры в течение всего лишь 20 час., а охлаждение — за время около 100 час. Более низкая по сравнению с кольцевыми печами температура обжига щеток, обжигаемых в электропечах, объясняется тем, что щетки этих марок содержат значительное количество металла, в основном меди, для спекания частиц которой требуется температура порядка 800—900° С. Угольные изделия подвергать обжигу в электропечах нельзя, так как максимальная температура, даваемая электропечами, применяемыми в электроугольной промышленности, недостаточна для обжига этих изделий.

При обжиге в электропечах изделия укладываются в стальные ящики и окружаются угольным порошком во избежание окисления. После обжига состав щеток, изготовляемых с применением связующего, изменяется. В процессе обжига летучие вещества уходят, а оставшаяся часть связующего превращается в кокс. Так как все марки щеток, за исключением МГ, МГС, БГ и МГ2, изготовляются с применением связующего, то все эти марки содержат кокс, даже если он не входил в рецептуру данной марки. Можно принять, что при существующем режиме обжига выход кокса составляет:

для препарированной смолы 35%
для уваренной смолы 40%
для пека 60%

Если рассчитать количество кокса в блоках после обжига, то окажется, например, что в щетке марки М1 содержится примерно 3% кокса, в щетке марки М3 — 7%. Некоторые марки щеток

изготовляются в две и даже в три стадии. Это означает, что сажа, кокс или другие материалы смешиваются со связующим, прессуются и обжигаются. В результате этого содержание кокса в щетке может значительно увеличиться; так, например, для щетки марки ЭГ-10 содержание кокса после обжига составляет (по расчету) 35—40%, в то время как исходными материалами являются только сажа и связующее.

3. Основные составные материалы

Зависимость между составом электрощетки и ее свойствами была в общих чертах освещена в гл. 1. Здесь рассматривается несколько более подробно вопрос влияния основных составляющих на свойства электрощетки и на ее поведение в эксплуатации и приводятся некоторые данные по основным материалам, применяемым при изготовлении электрощеток.

Медь. Удельная электропроводность меди примерно в 500 раз выше, чем графита; поэтому в медно-графитных щетках решетка из частиц меди служит основным проводником тока. Кроме того, при работе щетки на коллекторе или на кольце частицы меди процарапывают политуру, вследствие чего переходное падение напряжения сильно снижается.

По мере увеличения содержания меди в щетках их удельная электропроводность резко возрастает, примерно пропорционально величине $v_{\text{м}}^3$, где $v_{\text{м}}$ — содержание меди в щетке по объему. Происходит это потому, что с увеличением числа частиц меди не только соответственно увеличивается число цепочек, образующих проводящую решетку, но и все большее число разрозненных частиц меди образует новые цепочки.

Если $x_{\text{м}}$ — относительное весовое содержание меди в щетке, %;
$x_{\text{г}}$ — относительное весовое содержание графита в щетке, %;
$\gamma_{\text{м}}$ и $\gamma_{\text{г}}$ — удельные веса меди и графита, то относительное объемное содержание меди в щетке ($v_{\text{м}}$) выразится формулой:

$$v_{\text{м}} = \frac{x_{\text{м}} \cdot 100}{x_{\text{м}} + x_{\text{г}} \frac{\gamma_{\text{м}}}{\gamma_{\text{г}}}} \%. \qquad (21)$$

Отношение удельных весов меди и графита примерно равно 4,4; отсюда нетрудно рассчитать, что если весовое содержание меди $x_{\text{м}}$ для щеток марки М1 составляет 50%, то объемное содержание составит всего лишь 18,5%. Для щеток марки М3, содержащей 25% меди по весу, объемное содержание меди составит 7%.

Свинец и олово. С повышением содержания меди в щетке уменьшаются электрические потери как в самой щетке, так и в скользящем контакте. Это позволяет в ряде случаев повы-

сить плотность тока в щетках. Для щеток с высоким содержанием меди, как МГ (91%) или МГ2 (81%), повышение плотности тока ограничено износом щеток, возрастающим почти пропорционально квадрату плотности тока. Опыт показал, что благоприятное влияние на работу щеток оказывает прибавление свинца; при этом щетка становится менее жесткой, менее склонной к вибрациям и в то же время менее склонной к распылению.

Благоприятное влияние на работу щеток оказывает также и добавление олова; однако добавление оловянного порошка для щеток, обжигаемых при температурах порядка 800° С, имеет тот недостаток, что получаемая в составе готовых щеток оловянистая бронза может вызвать повышенный износ колец (коллектора). Наилучшим решением вопроса поэтому является добавление свинца в количестве примерно 5—10%.

Графит. В металло-графитных щетках с высоким содержанием металла графит служит для смазки скользящего контакта и для уменьшения жесткости щетки (уменьшает коэффициент трения и механическое искрение). В щетках с пониженным содержанием меди графит также применяется для лучшей смазки скользящего контакта; кроме того, содержание графита способствует образованию политуры на коллекторе или кольце (уменьшает коммутационное искрение). В некоторых марках щеток (например, в щетках марки М3) графит используется так же, как токопроводящее тело. Кристаллы графита имеют весьма низкое удельное сопротивление, порядка 1 *ом · мм²/м*. Сопротивление же графитного блока складывается из переходных сопротивлений между отдельными частицами; так, применяющиеся в производстве порошки ботогольского или тайгинского графита (крупнокристаллические), будучи спрессованы и обожжены, имеют удельное сопротивление порядка 10—15 *ом · мм²/м*. Частицы этого графита имеют вид чешуек. При прессовании они располагаются плоскостью перпендикулярно направлению прессования.

Сопротивление в направлении прессования такого графитового блока нередко бывает в несколько раз (порядка 10) выше сопротивления в двух других направлениях. Применяются и другие типы графита, как, например, ногинский графит, напоминающий курейский графит, описанный в книге Красильникова [Л. 3], который состоит из кристаллов значительно меньшей величины, чем ботогольский. Частицы такого графита имеют меньшую способность к ориентации, и такой графит является как бы переходной ступенью от натурального крупнокристаллического графита типа ботогольского, цейлонского и др. к таким веществам, как кокс и сажа.

Кокс и сажа. В настоящее время считается установленным [Л. 5, 21], что все виды «аморфного» углерода, в том числе кокс и сажа, в действительности состоят из очень мелких кристаллов графита, различно ориентированных и разделенных углеводородными молекулами. Поэтому удельное сопротивление кокса в несколько раз выше, чем графита, а сажи — еще выше.

Кокс значительно тверже графита; чем больше кокса содержится в щетке, тем выше ее твердость и механическая прочность. Подобные щетки, называемые угольно-графитными (хотя их правильнее было бы назвать коксо-графитными), применяются там, где требуется устойчивость против механических толчков и ударов, а также против искрения.

Вследствие высокого удельного сопротивления и связанного с ним высокого переходного сопротивления скользящего контакта коммутация с угольно-графитными щетками осуществляется легче, чем с графитным и тем более с металлографитными щетками.

Как приведено в табл. 6, сажа состоит из очень мелких частиц. Из всех углеродных веществ сажа обладает наиболее развитой поверхностью, ввиду чего она обладает свойством поглощать много связующего материала. При коксовании связующего материала частицы сажи становятся центрами коксования. После коксования сажа как бы является составной частью образовавшегося кокса. Благодаря этому сажа придает щетке твердость; так, например, обожженный полуфабрикат для щетки марки ЭГ10 (до графитации), состоящий на $^2/_3$ из сажи и на $^1/_3$ из кокса (образовавшегося из связующего материала), имеет наиболее высокую твердость, доходящую до 100 единиц Шора и до 500 *кг/мм²* при испытании по методу вдавливания.

4. Графитация

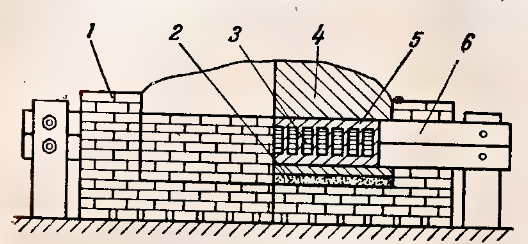
Кокс и сажа, придавая электрощеткам твердость, одновременно вызывают увеличение коэффициента трения щеток, а также их склонности к механическому искрению, что не позволяет применять такие щетки при сколько-нибудь повышенных значениях окружной скорости скользящего контакта.

Кроме того, твердые частицы кокса процарапывают политуру на коллекторе, благодаря чему вольтамперная характеристика щетки приближается к прямолинейной и становится неблагоприятной для осуществления коммутации. Было найдено, что при прокаливании щеточных блоков до температуры порядка 2 500° С свойства щеток значительно улучшаются. При прокаливании происходит рост кристаллов графита и укрупнение частиц, хотя структура блока остается без изменения. Все примеси (частицы глины, песка, железа и пр.) испаряются и почти полностью удаляются из щеток. Твердость и удельное сопротивление щеток уменьшаются, однако не настолько, чтобы это повредило работе щеток. Уменьшается коэффициент трения и склонность щеток к вибрациям на коллекторе, ввиду чего такие щетки могут работать при более высоких окружных скоростях. Твердые частицы уже не процарапывают политуры, а полируют коллектор (кольца), благодаря чему вольтамперная характеристика приближается к Г-образной, улучшая коммутацию. Описанный процесс прока-

ливания щеточных блоков называется графитацией, так как при этом процессе материал щетки по своим свойствам приближается к свойствам натурального графита.

Графитация производится в электрических печах сопротивления (фиг. 19).

В печи сопротивления подина печи, сложенная из огнеупорного кирпича, покрыта слоем карборунда, защищающего кирпич от действия высокой температуры. Поверх карборунда насыпается слой порошка прокаленного кокса, на котором между неподвижными электродами собирается керн, состоящий из нескольких пакетов щеточных блоков, разделенных между собой прокаленным порошком кокса. Сверху керн также покрывается слоем прокаленного порошка кокса, а затем в целях уменьшения теплоотдачи слоем засыпки, т. е. порошка кокса в смеси с песком толщиной примерно 0,5 *м* (или несколько больше). При включении источника тока (трансформатор или генератор переменного тока) проходящий через керн ток нагревает его до температуры порядка 2 500° С. Измерение температуры производится оптическим пирометром через специальную угольную трубку. Застилающий трубку дым препятствует измерению температуры, а удаление его путем продувания трубки каким-либо инертным газом является не только сложным, но вызывает некоторое охлаждение наблюдаемой через нее поверхности. Ввиду этого наблюдаемая температура всегда бывает на 15—20% ниже действительной температуры.



Фиг. 19. Печь сопротивления для электрографитации.

1 — корпус печи; *2*—подина печи; *3*—керн; *4*—засыпка; *5* — слой прокаленного порошка кокса; *6*—электрод.

Вес загружаемой в печь продукции составляет 300—500 *кг*; продолжительность пребывания под нагрузкой 10—20 час. Расход электроэнергии на 1 *кг* загружаемой продукции равен 12—14 *квтч*. После выключения тока печь остывает примерно трое суток, после чего разгружается, блоки вынимаются и направляются в дальнейшую обработку.

После обжига и графитации щеточные блоки, прежде чем поступать в дальнейшую обработку, подвергаются испытаниям. От партии, содержащей не менее 100 блоков, отбирается определенный процент блоков (2%, но не менее 20 шт.) и подвергается испытаниям на определение твердости и удельного электрического сопротивления. Периодически проводятся более полные испытания, с изготовлением щеток и испытанием их на специальных стендах с короткозамкнутыми коллекторами с целью определения переходного падения напряжения, коэффициента трения и величины износа.

5. Изготовление заготовок электрощеток из блоков

На некоторых предприятиях и электростанциях возникает иногда необходимость срочного изготовления нескольких электрощеток из имеющегося полуфабриката в виде щеточных блоков, графитированных электродов и т. д. Иногда предприятия изготовляют для своих нужд электрощетки собственными силами, заказывая для этой цели блоки определенных марок на предприятиях электроугольной промышленности. В этом случае следует иметь в виду, что щеточные блоки изготовляются определенных размеров. Размеры блоков приведены в табл. 7.

Таблица 7

Размеры блоков электрощеток

№ п/п	Марка полуфабрикатов	Размеры блоков		
		в толщина, *мм*	*а* ширина, *мм*	*l* длина, *мм*
1	Т2, Т6, Г2, Г6, Г8, ЭГ2, ЭГ6, ЭГ83, ЭГ84	15—30	35±3	64^{+3}_{-4}
2			38±3	58^{+3}_{-4}
3			38±3	66^{+3}_{-4}
4			46±3	70^{+3}_{-5}
5	УГ2, УГ4, Г1, Г3, ЭГ2а, ЭГ4, ЭГ5, ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ11, ЭГ12, ЭГ13, ЭГ14	15—40	56^{+3}_{-4}	66^{+3}_{-4}
6			66^{+3}_{-4}	74^{+3}_{-5}
7			68^{+3}_{-5}	74^{+3}_{-5}
8			75^{+3}_{-5}	110^{+3}_{-6}
9			150^{+3}_{-10}	240^{+3}_{-16}
10	М1, М3, М6, М20, МГ, МГ2, МГ4, МГС, МГС5, МГС6, БГ	8—30	31±1	56±1,5
11			35±1	56±1,5
12			36±1	46±1
13			40±1	70±2
14			44±1	54±1,5
			56±1,5	74±2

При наличии щеточных блоков изготовление заготовки щеток может быть произведено силами небольших мастерских, соблюдая следующий порядок операций:

а) резка блока на заготовки;
б) обточка прямоугольной щетки по заданным размерам;
в) фасонирование щетки;
г) сверловка щетки;
д) фрезеровка щетки.

Разрезка блока на заготовки может быть осуществлена обыкновенной слесарной ножовочной пилой на фрезерном станке или на специальном станке типа ВШ-1 (фиг. 20) производства Ви-

тебского завода им. Кирова, снабженного шлифовальными кру гами для разрезки блоков и для обточки щеток. Диаметр шли фовальных кругов для разрезки блоков 250—300 *мм* при то щине 2—3 *мм*. Круги для обточки щеток имеют тот же диамет но толщина увеличена до 32 *мм*.

Станок типа ВШ-1 является универсальным станком для об работки угольных изделий. Он имеет стол размером 700 × 185 *мм*, который может поворачиваться на угол ±20°. Це деления поворотного устройства 2 мин. По имеющемуся поворот ному столу можно без сложной настройки производить ра резку блока, обточку плоскосте прямоугольной щетки, снятие фа сок, снятие плечиков под арма туру.

Фиг. 20. Станок типа ВШ-1 для обработки электрощеток.

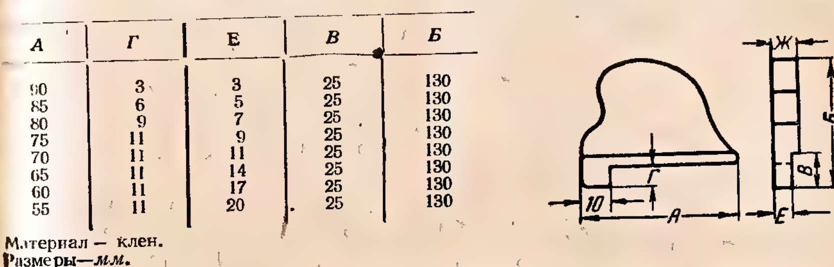
1 — штурвал для перемещения установочной линейки; *2* — червяк для поворота стола под углом; *3* — штурвал для перемещения суппорта; *4* — зажимные рукоятки.

Разрезка блока на заготовк производится путем продвижени блока по столу станка на вращаю щийся против часовой стрелки р зальный круг, имея в качеств опорной базы передвижную ли нейку стола, устанавливаемую н заданный размер с точностью д 0,05 *мм*.

За один проход разрезка про изводится до половины толщин блока, затем блок переворачивает ся и производится окончательна отрезка заготовки. Разрезка бло ка ножовкой по своей простот не требует описаний. При разрез ке блока толщину (*в*) щетки обя зательно нужно откладывать п толщине (*в*) блока и высоту (*h*) щетки по длине (*l*) блока; в крайних случаях разрешается высо ту щетки (*h*) откладывать по ширине (*a*) блока.

Необходимость такого совмещения объясняется тем, что все щетки, содержащие графит, имеют слоистую структуру. Удель ное сопротивление их по направлению прессования (т. е. перпен дикулярно слоям) значительно выше, чем в остальных двух на правлениях. Ввиду этого при раскрое и разрезе блоков необходи мо строго следить за тем, чтобы направление слоев щетки сов падало с направлением слоев блока, т. е. чтобы при установке щеток на коллектор слои щетки были направлены параллельно пластинам коллектора. В этом случае, при переходе щетки с од ной пластины на другую токи короткого замыкания в секции, подвергающейся коммутации, будут встречать на своем пути наи большее сопротивление. После каждой резки место отреза зачи щается шлифовальным кругом. Линейная скорость шлифоваль ного круга достигает 35 *м/сек*.

Обточка прямоугольной щетки производится также на стан ке типа ВШ-1 путем продвижения отрезанной заготовки между торцами шлифовального круга и установочной линейкой при по мощи деревянной направляющей (фиг. 21), причем за один про ход обрабатывается только одна плоскость щетки. Обточка пря моугольной щетки также может быть осуществлена при помощи плоской драчевой или личной пилы с последующей зачисткой плоскостей щетки наждачным полотном № 100—140. Размеры



А	Г	Е	В	Б
90	3	3	25	130
85	6	5	25	130
80	9	7	25	130
75	11	9	25	130
70	11	11	25	130
65	11	14	25	130
60	11	17	25	130
55	11	20	25	130

Материал — клен.
Размеры — *мм*.

Фиг. 21. Направляющая для обработки электрощеток на станке ВШ-1:

№ п/п	$D^{-0,1}$	d	Шайба D/d
1	6,75	3,5	6/3,5
2	9,45	4,5	8,5/4,5
3	10,95	5,5	10/5,5

Материал — сталь ЭУ-8.
Размеры — *мм*.

Фиг. 22. Комбинированное сверло для отверстий диаметром 5,5 *мм* и ниже

№ п/п	$D^{-0,1}$	d	Шайба D/d
1	12,95	6,5	12/6,5
2	17,45	8,5	16/8,5
3	19,45	8,5	18/8,5

Материал — сталь ЭУ-8.
Размеры — *мм*.

Фиг. 23. Комбинированное сверло для отверстий диаметром 6,5 *мм* и выше:

щеток, предусмотренные ГОСТ, приведены в приложении 1. Допуск на проточку щеток для омеднения и допускаемые отклонения от номинального размера щеток приведены в табл. 8.

Имея выточенные прямоугольные щетки, приступают к их фасонированию. Фасоны щеток и типы армировки их приведены в приложениях 2 и 3. Рассмотрим изготовление щеток следующих наиболее распространенных фасонов: П, Ф1, Ф2 и Ф19 со свойственной им арматурой. Снятие фасок у всех фасонов, заточка конуса для фасонов Ф1 и Ф2 и снятие плечиков по фасону Ф19 могут быть произведены или на станке ВШ-1 (при этом стол станка устанавливается на соответствующий угол по отно-

Таблица

Допускаемые отклонения от номинального размера электрощеток

Номинальные размеры щеток, *мм*	Отклонения по ширине и толщине щетки, *мм*: C_4, Готовая щетка	C_4, Заготовка щетки под омеднение	X_4, Готовая щетка	X_4, Заготовка щетки под омеднение	Отклонение по высоте щетки, *мм*	Допуск на свободные размеры по 1-му классу точности	Откл… нение по в… соте сло… омед… ния щетк…
От 1 до 3	0 −0,06	−0,06 −0,10	−0,03 −0,09	−0,09 −0,13	±0,5	0 −0,25	∓1
Свыше 3 до 6	0 −0,08	−0,08 −0,12	−0,04 −0,12	0,12 −0,18	±0,5	0 −0,30	±1
Свыше 6 до 10	0 −0,10	−0,08 −0,14	−0,05 −0,15	−0,13 −0,19	±0,5	0 −0,36	±1
Свыше 10 до 18	0 −0,12	−0,08 −0,16	−0,06 −0,18	−0,14 −0,22	±0,5	0 −0,43	±1
Свыше 18 до 30	0 −0,14	−0,08 −0,18	−0,07 −0,21	−0,15 −0,25	±1,0	0 −0,52	±2
Свыше 30 до 50	0 −0,17	−0,08 −0,21	−0,08 −0,25	−0,16 −0,29	±1,0	0 −0,62	±2
Свыше 50 до 80	0 −0,20	−0,08 −0,24	−0,10 −0,30	−0,18 −0,34	±1,0	0 −0,74	±2
Свыше 80 до 120	0 −0,23	−0,08 −0,27	−0,12 −0,35	−0,20 −0,39	±1,0	0 −0,87	±2
Свыше 120 до 180	0 −0,26	−0,08 −0,30	−0,13 −0,40	−0,21 −0,44	±1,0	0 −1,00	±2

П р и м е ч а н и я: 1. Толщина слоя омеднения должна быть в пределах 0,02÷0,04 *мм* на каждую сторону.

2. У щеток, не имеющих арматуры, слой омеднения не должен превышать 1/3 высоты щетки.

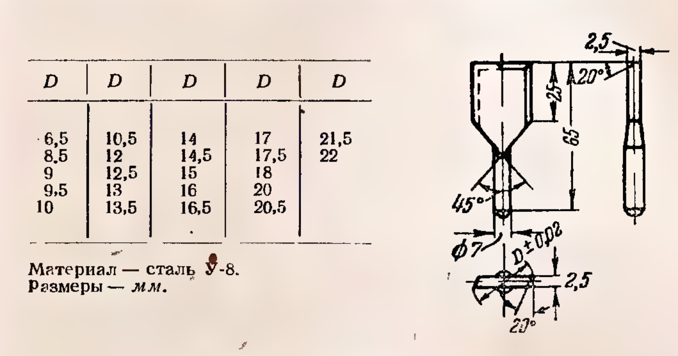
3. Отклонение расстояния от манжетки токопровода до щетки должно быть в пределах +20 *мм*.

4. Фаски на ребрах щеток по высоте должны быть 0,3÷0,5 *мм*.

5. Крепление арматуры (высота омеднения) у щеток высотой до 16 *мм* должно распространяться не более чем на 60% высоты, свыше 16 до 32 *мм* должно распространяться не более чем 50% высоты и свыше 32 *мм* — не более чем на 40% высоты.

6. Непараллельность — в пределах допусков.

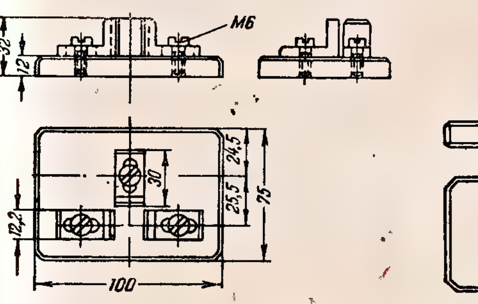
шению к шлифовальному кругу) или ручным способом аналогично обработке прямоугольной щетки. Фрезеровка прорези под армировки типа А11, А14, А15, а также сверловка отверстий под любой вид арматуры производятся на вертикально-сверлильном станке настольного типа. Сверловка щеток под крепление токопровода по методу развальцовки (А1-А7) производится комбини-



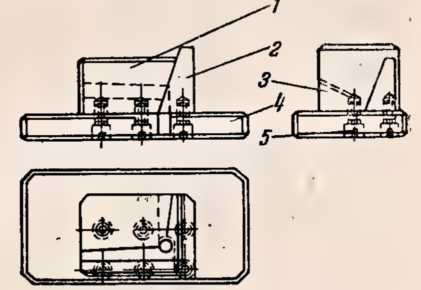
D	D	D	D	D
6,5 8,5 9 9,5 10	10,5 12 12,5 13 13,5	14 14,5 15 16 16,5	17 17,5 18 20 20,5	21,5 22

Материал — сталь У-8.
Размеры — *мм*.

Фиг. 24. Перовое сверло:



Фиг. 25. Приспособление для сверления электрощеток.



Фиг. 26. Упор-угольник для сверления электрощеток с двойным уклоном.

1 — передняя планка; *2* — боковой клин; *3* — нижний клин; *4* — плита; *5* — винт М6.

рованными сверлами (фиг. 22 и 23) или нормальным спиральным сверлом с последующей раззенковкой перовым сверлом (фиг. 24).

При сверловке щетка кладется на приспособление (фиг. 25), имеющее установочные угольники, которые одновременно являются опорной базой. Сверловка щеток под крепление токопровода по методу пайки или конопатки производится нормальным спиральным сверлом, причем в качестве опорной базы могут также служить приспособления фиг. 26 или тиски.

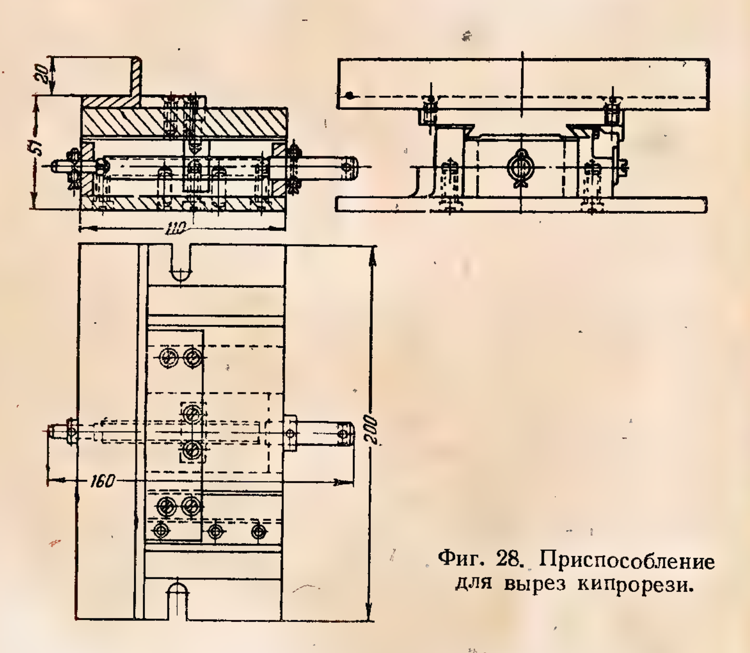
Для выбора диаметра отверстий в зависимости от сечения токопровода следует руководствоваться данными, приведенными в приложении 6.

При креплении провода конопаткой просверленное отверстие нарезается вручную соответствующим метчиком № 3. Фрезеровка прорези под армировки А11, А14, А15 производится торцевой

№ п/п.	D	z	d
1	6,6	10	3
2	8,5	12	3
3	9	12	3
4	9,5	12	3
5	10	12	3
6	10,5	12	3
7	12	12	5
8	12 5	12	5
9	13,	14	5
10	13,9	14	5
11	14	14	5
12	14,5	14	5
13	15	15	5
14	16	15	5
15	16,5	15	5
16	17	18	5
17	17,5	18	5
18	18	18	5
19	20	20	5
20	20,5	20	5
21	20,5	20	5
22	20	20	5

Материал — сталь ЭУ-8 и сталь ЭХ.
Размеры — *мм*.

Фиг. 27. Торцеваи фреза с углом заточки 5°:



Фиг. 28. Приспособление для вырез кипрорези.

фрезой фиг. 27 при помощи приспособления фиг. 28 на сверлильном станке. Данная операция может быть выполнена также на вертикально-фрезерном станке.

6. Пропитка электрощеток

Не все выпускаемые щетки подвергаются пропитке. В тех случаях, когда щетки предусматриваются для более тяжелых условий работы, заготовки щеток подвергаются пропитке, которая производится до омеднения и армировки щеток.

Известно, что даже самая легкая смазка скользящего контакта уменьшает вибрацию щеток (удары трения), а также снижает коэффициент трения. С другой стороны, всякая смазка ухудшает проводимость скользящего контакта, поэтому смазку лучше всего вводить в определенной пропорции непосредственно в поры щеток путем их пропитки.

В качестве смазывающего материала лучше всего применять 50%-ную смесь парафина с церезином, но можно применять и один парафин. Церезин представляет собой очищенный озокерит (горный воск); это — вещество белого цвета, с более высокой температурой размягчения, чем озокерит и парафин. В качестве растворителя можно применять: керосин, бензол, трихлорэтилен, чистый бензин. Наиболее безопасным в пожарном отношении является трихлорэтилен, затем керосин. В смысле воздействия на здоровье работающих наименее вредным является керосин.

Как указывалось ранее, количество пропиточного материала (парафина или других аналогичных веществ) не должно превышать 0,3% (в крайнем случае 0,5%) от веса щетки. Соотношение это действительно для щеток, не содержащих металла, с объемным весом 1,5—1,7; для щеток, содержащих металл, т. е. более тяжелых щеток, соотношение это должно быть еще меньше. Так, например, для щеток с объемным весом 3,0 содержание пропитки по весу не должно превышать 0,15—0,2%.

Если исходить не из весовых, а из объемных соотношений, то объем пропитки должен быть порядка 0,5—0,7% и во всяком случае не свыше 1% от объема щетки независимо от марки щетки.

Перед пропиткой нужно определить пористость щеток, так как величина эта колеблется в пределах от 10 до 30%. Пористость щеток определяется при этом поглощением пропитывающего вещества. Для этого несколько щеток взвешиваются, затем погружаются на 1—2 часа в подогретый растворитель, после чего вынимаются и взвешиваются снова. Вес пропитывающего вещества определяется по формуле

$$P_{пр} = P_{рас} \cdot \frac{k \cdot P_1}{P_2 - P_1}, \qquad (22)$$

где P_1 — вес щеток до пропитки, *г*;

P_2 — вес щеток после пробной пропитки растворителем, *г*;

$P_{рас}$ — вес всего растворителя, необходимого для того, чтобы заполнить сосуд для пропитки, *г*;

$P_{пр}$ — вес пропитывающего вещества (парафина или др.), подлежащего растворению, *г*;

k — коэффициент, принимается в зависимости от объемного веса щеток согласно табл. 9.

Таблица 9

Выбор коэффициента *k* при пропитке щеток

Объемный вес щеток, *г/см³*	Марка щеток	Значение коэффициента *k*
1,4—1,7	Т2, Т6, УГ2, ЭГ83, ЭГ84	0,0030
1,6—1,9	Остальные угольно-графитные, графитные и электро-графитированные марки	0,0025
2,1—3,2	М1, М3, М6, М20, МГС5, МГС6,	0,0017
3,0—4,2	МГ4, МГ6	0,0013
4,0—7,0	МГ2, МГ, МГС, БГ	0,0009

Парафин (или другое смазывающее вещество) растворяется в керосине (или другом растворителе), и этот раствор вливается в сосуд, где находятся щетки. Желательно, чтобы сосуд герметически закрывался.

Пропитка продолжается 2—3 часа при температуре 120° С для керосина и температуре кипения (порядка 80° С) для бензола или бензина.

После окончания пропитки щетки вынимаются и просушиваются:

для бензола — в течение 3—4 час. при температуре 100° С
для керосина — в течение 10 час. при температуре 100° С

Если щетки предназначаются для работы при высокой температуре, порядка 120° С и выше, то лучше пропитывать их металлическим мылом (стеарат свинца), так как парафин может испариться. Металлическое мыло является твердой смазкой, не боящейся высоких температур и не загрязняющей коллектор; по этой причине содержание пропитки можно не ограничивать. Для щеток, не содержащих металла, содержание пропитки металлическим мылом составляет обычно 2—3% по весу, т. е. в 7—10 раз больше, чем для парафина.

Металлическое мыло представляет собой свинцовую соль стеариновой кислоты. Его можно получить из обыкновенного хозяйственного мыла, воздействуя на него уксусно-кислым свинцом.

Металлическое мыло растворяется в бензине. Сушку щеток после пропитки металлическим мылом следует производить при температуре 130° С.

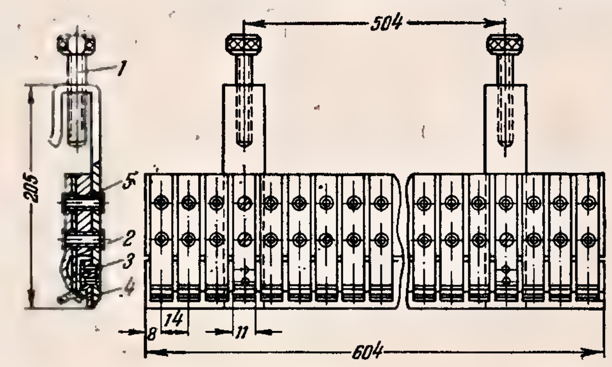
Следует отметить еще одну положительную сторону пропитки: уменьшение гигроскопичности щеток. Как уже упоминалось ранее, наличие в воздухе влаги, в особенности насыщенной солью, вызывает коррозию коллекторов; то же относится и к металличе-

ским коробкам щеткодержателей. При этом щетка может застревать в щеткодержателе.

Известен случай, когда малогабаритные двигатели постоянного тока благополучно проходили все сдаточные испытания на заводе-изготовителе, но выходили из строя в эксплуатации вследствие застревания щеток в щеткодержателях, вызванного коррозией стенок щеткодержателя. Эта коррозия могла быть уменьшена путем увеличения зазора между щеткой и щеткодержателем, но при этом щетка начинала болтаться в щеткодержателе, что вызывало сильнейшее механическое искрение. Однако достаточно было пропитать щетки (марки ЭГ8) парафином в количестве 0,3%, как коррозия прекратилась.

7. Омеднение электрощеток

Омеднение электрощеток производится по окончании механической обработки заготовки. Целью омеднения является уменьшение переходного сопротивления от токоподводящего провода к телу щетки. Омеднению подвергаются обычно не армированные



Фиг. 29. Приспособление для омеднения электрощеток.

1 — регулируемое крепление подвеса к штанге; *2* — медный зажим; *3* — пружина, прижимающая щетку; *4* — токоподвод медный; *5* — латунная трубка.

щетки, а также щетки, к которым предусматривается крепление токопровода методом пайки или развальцовки. Высота омедняемой части щеток не должна превышать значений, указанных в табл. 8. Слой омеднения должен плотно прилегать к поверхности щетки и не иметь вздутий.

Омеднение щеток производится гальваническим способом в сернокислых ваннах. Состав электролита: медный купорос ГОСТ 2184-43, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$—180—200 *г/л*, серная кислота ГОСТ 2142-43, H_2SO_4—30—40 *г/л*, температура электролита — 20—25° С. Перед омеднением щетки подвергаются дополнительной обработке: промывке в бензоле в течение 0,5—7 мин., после чего промывке в горячей проточной воде при температуре 80—90° С в течение 10—15 мин. и, наконец, промывке в холодной проточной воде трехкратным окунанием.

Промытые щетки закрепляются в специальных приспособле-ниях (фиг. 29) и подвешиваются на штанги ванны так, чтобы щетки были погружены в раствор электролита на высоту, по-требную для омеднения. После подвешивания включается ток ми-нимального значения, постепенно увеличивая его до максималь-ной величины; при этом плотность тока должна быть в предела 0,01—0,03 *а/см²* омедняемой поверхности щетки.

В процессе омеднения необходимо следить за показаниям вольтметра и амперметра, чтобы ток и напряжение были посто-янными. Окончание омеднения определяется по разности толщи омедненной и не омедненной частей щетки путем измерения с по-мощью микрометра. После омеднения щетки промываются в хо-лодной и горячей проточной воде трехкратным окунанием, сни-маются с подвесок и в течение 20—25 мин. сушатся в сухих дре-весных опилках. Просушенные таким образом щетки укладыва-ются на стальной противень и помещаются в сушильный шкаф с температурой 100—120° С на 30—40 мин. По окончании сушки щетки вынимаются из шкафа и охлаждаются до комнатной тем-пературы, после чего производится чистка омеднения. Чистка может производиться на крацевальном станке или ручной щет-кой из мягкой латунной проволоки.

8. Токопроводы электрощеток

а) Выбор токопровода

Для подведения тока к телу щетки ее обычно снабжают токо-проводом, закрепляя его непосредственно в теле щетки или при-меняя для этого специальную арматуру. Типы арматуры, приме-няемые в производстве щеток нашей электрощеточной промыш-ленности, приведены в приложении 3. Сечение токопровода выби-рается в зависимости от максимально допускаемого тока в щет-ке согласно табл. 10. Токопровод должен быть гибким.

Для соблюдения этого условия токопровод изготовляется и скрученных медных проволок, диаметр которых обычно колеблет-ся в пределах 0,05—0,15 *мм* и зависит от сечения токопровода Классификация токопроводов приведена в приложении 4.

Таблица 1

Выбор диаметра токопровода

Максимально допускаемый ток, *а*	6	8	10,5	13	17	24	30	38	50
Номинальное сечение провода, *мм²*	0,3	0,5	0,75	1,0	1,5	2,5	4	6	10
Максимальный наружный диаметр провода ПЩ, ПЩС, *мм*	1,0 —	1,4 —	1,5 —	1,7 2,1	2,3 2,3	2,6 3,2	4,0 —	5,4 —	6, —

Каждый токопровод оканчивается наконечником. Применяе-мые типы наконечников токопровода к щеткам приведены в при-ложении 5.

б) Крепление токопровода к щетке

В нашей электроугольной промышленности применяется пять различных способов крепления токопровода к телу щетки: по-средством конопатки, развальцовки, пайки, через обойму и за-прессовки.

Способ конопатки заключается в том, что в щетке высверли-вается одно или два отверстия несколько большего диаметра, чем диаметр провода (приложение 6). В каждое отверстие вводится токопровод, а пространство между ним и телом щетки засы-пается медным порошком, который уплотняется.

При осуществлении крепления токопровода способом разваль-цовки в отверстие, просверленное сквозь головку щетки (прило-жение 6), вкладывается медная трубка, при развальцовке кото-рой токопровод прижимается к телу щетки.

В случае применения способа пайки токопровод заводится в специальное углубление в теле щетки (приложение 6), которое заполняют оловом, припаивая, таким образом, провод к телу щетки. Разумеется, в этом случае головка щетки обязательно должна быть омеднена (за исключением щеток с высоким содер-жанием меди, как МГС, МГ2 и т. д.).

Для подведения тока к телу щетки через обойму применяют-ся специальные (приложение 7) обоймы; последние снабжаются трубками, плотно прижимающими обойму к телу щетки. Разме-ры трубок и других мелких деталей арматуры приведены в при-ложении 8.

Способ запрессовки заключается в том, что токопровод уста-навливается в заготовку щетки, которая подлежит прессованию. После прессования токопровод оказывается запрессованным в тело щетки.

Наилучшим из всех способов креплений токопровода к телу щетки является конопатка. При этом способе обеспечиваются наименьшее переходное сопротивление контакта и наибольшая его устойчивость по отношению к механическим сотрясениям. Способ конопатки рекомендуется применять для всех типов и марок щеток за исключением:

а) мягких или пористых щеток с поперечными размерами ме-нее 20 × 30 *мм*. В этом случае рекомендуется применять способ развальцовки;

б) щеток мелких размеров с поперечным сечением менее 100 *мм²*. В этом случае обычно рекомендуется применять способ пайки; впрочем, для твердых щеток, например Т2 и т. п., иногда и в этом случае можно применять способ конопатки.

Обоймы типов А3, А15 и т. п. применяются с целью защиты мягких щеток и щеток средней твердости от разрушения при воздействии пружины щеткодержателя. Какого-либо изменения

в качестве электрического контакта между токопроводом и щеткой обоймы этого типа не вносят.

Никогда не следует применять омеднения для щеток, у которых крепление токопровода осуществляется способом конопатки. В этом случае омеднение является совершенно бесполезной операцией, так как слой меди не покрывает отверстий изнутри и не соприкасается с проводом.

Наоборот, в случае применения способов развальцовки, пайки или крепления через обойму головка щетки должна быть обязательно омеднена (кроме щеток с высоким содержанием меди: МГС, МГ2 и т. п.).

Крепление токопровода к телу щетки способом пайки обычно применяется только для щеток мелких размеров (с поперечным сечением менее 100 *мм*²).

Подведения тока к щетке через обойму следует избегать, так как при длительной работе щеток трубки расшатываются и контакт ухудшается, что приводит в конце концов к преждевременному выходу щетки из строя.

Ниже приводится перечень операций для каждого из перечисленных выше способов крепления токопровода.

К о н о п а т к а. При осуществлении крепления токопровода способом конопатки ввод проводника в подготовленное отверстие в теле щетки и осуществление уплотнения порошка в нем производятся посредством специальных приспособлений, называемых «конопатками». Два типа ручных приспособлений для конопаток, изготовляемых из стали, приведены на фиг. 30. Наружная поверхность той части приспособления, которая входит в отверстие щетки, подвергается обработке с точностью до трех знаков. Все углы притупляются, чтобы не вызвать обрыва элементарных проводников токопровода при перемещении приспособления вдоль провода во время конопатки.

Размеры приспособлений для токопроводов различных сечений и диаметров приведены на фиг. 30.

При заделке токопровода способом конопатки провод заводится в прорезь приспособления и через канал трубки выводится наружу и заминается на длину 2—3 *мм* (замятый конец токопровода не должен по своему размеру превышать диаметр отверстия в щетке). После этого приспособление с токопроводом вводится в отверстие щетки до упора. Для запрессовки провода по приспособлению постукивают несколько раз молотком весом 200 *г*, после чего приспособление по токопроводу выводится из отверстия. Пространство между токопроводом и стенкой щетки заполняется порцией конопаточного порошка. В качестве конопаточного порошка применяется медный порошок, получаемый при просеве через сетку +80 меш (ГОСТ 4960-49). Приспособление вдоль токопровода вновь вводится в отверстие щетки и по нему производится постукивание молотком до уплотнения порошка. Эта операция повторяется несколько раз, пока отверстие не будет заполнено полностью. После этого приспособление сдви-

гается вдоль провода, и провод обрезается на требуемую длину. Обрезанный конец провода подкручивается, лудится и готовится для напайки наконечников, как указано ниже.

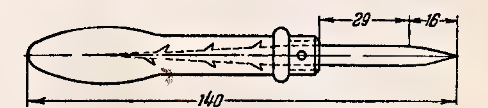
Р а з в а л ь ц о в к а. Существует два способа заводки провода при креплении его в теле щетки способом развальцовки. Первый способ применяется при одном проводе и состоит в том, что отре-

Токопровод: Сечение, *мм*²	Токопровод: Расчетный диаметр, *мм*	D, *мм*	d, *мм*	l, *мм*	l_1, *мм*	B, *мм*
		Тип I				
0,12	0,7	1,4	0,8	12	15	10
0,16	0,7	1,4	0,8	12	15	10
0,3	0,9	1,4	1,0	12	15	10
0,5	1,1	1,7	1,3	12	15	10
0,75	1,3	1,9	1,4	12	15	10
		Тип II				
1	1,6	2,2	1,7	15	8	15
1,5	1,8	2,6	2,0	15		15
2,5	2,6	3,3	2,6	16		15
4	3,1	4,5	3,5	20		15
6	4,0	5,5	4,5	20		15
10	5,5	7	5,8	20		15

П р и м е ч а н и я: 1. Допуск на размер D для типа I $-\frac{0,007}{0,032}$ и для типа II $-\frac{0,011}{0,044}$.
2. Допуск на размер d для типа I $+ 0,02$ и для типа II $+ 0,025$.

Фиг. 30. Приспособление для ручной конопатки.
а — тип *I*; *б* — тип *II*.

занный кусок провода вводится в отверстие щетки и со стороны раззенкованного отверстия в щетке под шайбу, конец провода сгибается кольцом по диаметру трубки и заправляется в раззенкованное отверстие. Второй способ применяется при двух проводах и состоит в том, что отрезанный конец провода вводят в отверстие щетки; потом на проводе делают петлю под трубку (со стороны раззенкованного отверстия под шайбу), петлю заправляют в раззенкованное отверстие и второй конец выводится наружу. Когда провод заведен в отверстие щетки, берут трубку и шайбу, расправляют петлю провода и посредством специального приспособления (фиг. 31) вводят в отверстие щетки трубку с предварительно надетой на нее шайбой.

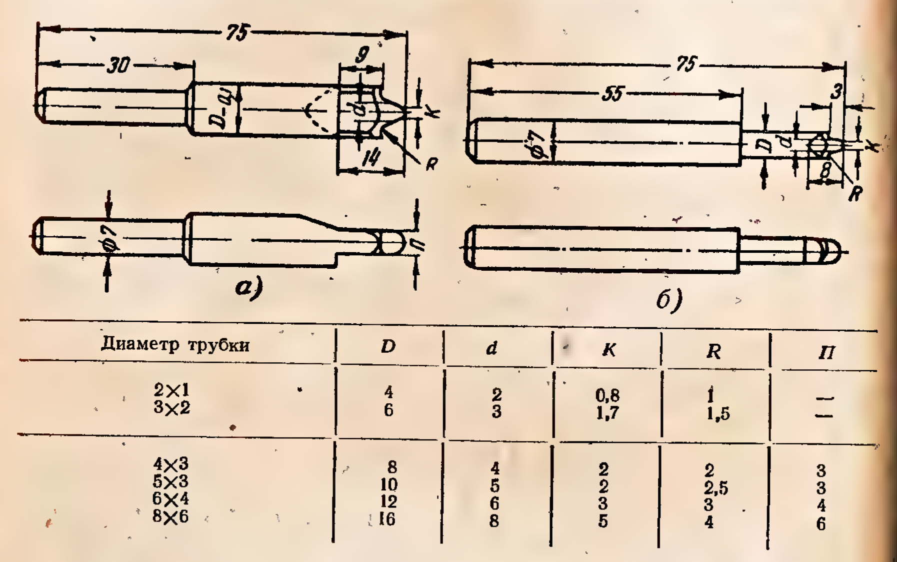


Фиг. 31. Приспособление для установки трубок в тело электрощетки.

Как видно из фиг. 31, приспособление имеет вид шила. Поверхность рабочей части хромируется и заостряется под радиус примерно 42 *мм*. Рабочая часть изготовляется обычно двух размеров: диаметром 6 или 9 *мм*.

Операция развальцовки производится на вертикально-сверлильном станке настольного типа. В качестве развальцовочного инструмента применяются приспособления, приведенные на фиг. 32 и 33, из которых одно вставляется в патрон станка, а другое служит для удержания при развальцовке. Приспособления для развальцовки трубок (фиг. 32) изготовляются из стали. Размеры приспособления выбираются, исходя из диаметров трубок.

Приспособление для удержания трубки при ее развальцовке (фиг. 33) устроено так, что собранная щетка надевается трубкой (со стороны заложенной шайбы) на конец приспособления, на



Диаметр трубки	D	d	K	R	П
2×1	4	2	0,8	1	—
3×2	6	3	1,7	1,5	—
4×3	8	4	2	2	3
5×3	10	5	2	2,5	3
6×4	12	6	3	3	4
8×6	16	8	5	4	6

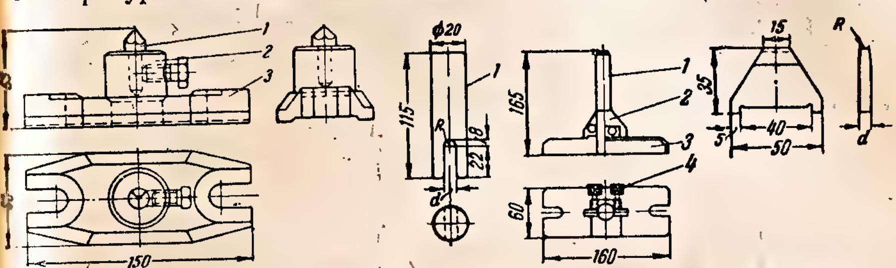
Фиг. 32. Приспособление для развальцовки трубок в теле электрощеток.
а — для трубок диаметром 2 и 3 *мм*; *б* — для трубок диаметром 4 *мм* и выше.

вторую сторону трубки надевается шайба (или обсйма 011) и путем нажатия рукоятки вращающегося шпинделя станка производится вальцевание конца трубки, после чего щетка переворачивается и вальцуется вторая сторона. После развальцовки провод отрезается соответственно длине по чертежу и армируется наконечником, как указано ниже.

П а й к а. Перед тем как припаять токопровод к телу щетки, к проводу припаиваются наконечники. Для осуществления пайки концы отрезанного по размеру провода скручиваются, обезжириваются в растворе канифоли на спирте и облуживаются на длине 2—5 *мм*. Облуженный конец провода запрессовывается в наконечник, после чего осуществляется пайка наконечника с проводом. Запрессовка наконечника осуществляется вручную ударами молотка или при помощи штампа (фиг. 34). На провод, если это требуется, надевается и закрепляется изоляция. Одева-

ние изоляции из хлопчатобумажного чулка производится посредством стальной иглы (фиг. 35). Диаметр иглы и ее размеры зависят от диаметра токопровода и сдеваемого чулка.

После того как токопровод подготовлен, осуществляется подготовка омедненной заготовки щетки: щетка разогревается до температуры 185—200° С. Поверхность пайки в теле щетки обез-



Фиг. 33. Приспособление для удержания трубки при ее развальцовке.
1 — упор, регулируемый по высоте; *2* — державка; *3* — подушка.

Фиг. 34. Штамп для запрессовки токопровода в наконечник.
1 — пуансон; *2* — матрица; *3* — подушка; *4* — винт.

жиривается раствором канифоли. После этого второй залуженный конец токопровода заводится в отверстие тела щетки и припаивается паяльником. Для пайки рекомендуется применять паяльник, головка которого приведена на фиг. 36.

Пайку рекомендуется осуществлять припоем ПОС 40:

олова	40%
сурьмы не более	1,5%
прочих примесей не более	2%
свинец	остальное

Т о к о п о д в о д ч е р е з о б о й м у. Крепление токопровода к щетке через обойму осуществляется в два этапа: сначала токо-

D	d	h	l	L	r
3,1	1,1	10	20	40	0,3
3,5	1,5	10	20	40	0,3
3,8	1,8	10	20	50	0,5
4,5	2,6	12	25	50	0,5
5	3,0	12	25	60	1
6	4,0	15	30	70	1
7,5	5,5	15	30	80	1

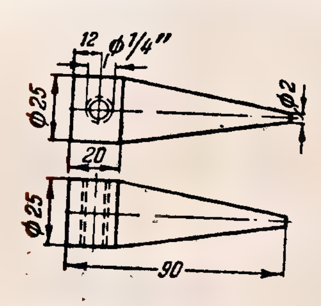
Фиг. 35. Игла для одевания на токопровод хлопчатобумажного чулка.

провод крепится к обойме, а затем обойма крепится к телу щетки.

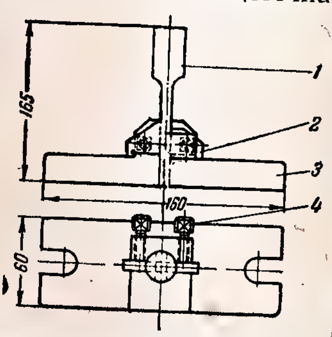
Проводники нарезаются по требуемому размеру. Концы нарезанных проводников закручиваются, обезжириваются в растворе канифоли на спирте и облуживаются на длине 2—5 *мм*. После этого конец токопровода вставляется в соответствующую обсйму (например, 016, 017 и т. п.), запрессовывается при помощи штампа (фиг. 37) и с внутренней стороны припаивается к обойме. Второй залуженный конец провода армируется нако-

нечником и, если требуется изоляцией, способом, описанным в разделе «пайка». Собранная таким образом обойма надевается на щетку. По обойме в щетке сверлятся отверстия под трубки, вставляются трубки и способом вальцевания, описанным выше, обойма крепится к телу щетки.

Запрессовка. Крепление токопровода к телу щетки методом запрессовки допустимо только для щеток, изготовляемых из материалов с резко выраженными пластическими свойствами, как МГС и МГ. В щеточной заготовке сверлится отверстие, в которое вставляется конец токопровода. После этого щеточная за-



Фиг. 36. Головка паяльника для пайки арматуры.



Фиг. 37. Штамп для обжимки токопровода в обойме.
1 — пуансон; *2* — матрица; *3* — подушка; *4* — винт.

готовка с продетым в отверстие токопроводом устанавливается в специальную прессформу и подвергается допрессовке. При этом щеточный кабель оказывается запрессованным в тело щетки. В результате запрессовки твердость щетки возрастает в несколько раз, что дает ей возможность работать при высоких плотностях тока без резкого возрастания износа. Этот метод крепления применяется в основном для щеток стартеров 6 *в*. По существу, при этом получается новая щеточная марка, показатели которой значительно отличаются от предусмотренных соответствующим ГОСТ на щетки и оговариваются особыми техническими условиями.

9. Слоистые и надрезные щетки

В ряде случаев, в целях улучшения условий коммутации и уменьшения искрения, становится целесообразным применение слоистых или надрезных щеток.

Ниже описывается вкратце изготовление двухслойных щеток. Описание это рассчитано на тех потребителей электрощеток, которые в состоянии сами изготовлять щетки из щеточных блоков.

Склеиваемые стороны обеих половинок специальных заготовок в виде пластин требуемой толщины тщательно шлифуются (в зависимости от пористости щетки), несколько раз промазываются бакелитовым лаком так, чтобы он впитался в поры заготовки. После каждой промазки заготовки слегка подсушиваются.

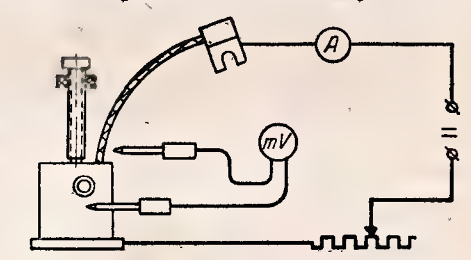
При последней промазке на одну из сторон кладется листик тонкой бумаги, которая затем также промазывается бакелитом. После этого обе половинки складываются.

Склеенные таким образом щетки накладываются одна на другую, образуя столб, который затем ставится в рамку, стягивается болтами и подвергается сушке. В первые 30 мин. сушки температура поднимается до 110° С, после чего болты подтягиваются. Затем заготовки сушатся в течение 15 час. при температуре 120° С. После этого склеенные заготовки вынимаются из рамы и подвергаются резке на щетки, обточке и армировке, как указывалось выше.

В большинстве случаев, однако, затруднения со щетками возникают тогда, когда уже имеются готовые щетки, не обеспечивающие достаточно удовлетворительной коммутации. Если имеется уверенность, что искрение возникает по электрическим, а не по механическим причинам, то хороший результат дает надрезывание щетки. Для этого на скользящей поверхности щетки тонкой ножовкой делается надрез на глубину примерно 5 *мм*. Надрез производится в направлении, параллельном пластинам коллектора; таким образом, для поперечного тока (текущего от одной пластины к другой) путь удлиняется. При этом надо иметь в виду, что слишком глубоко надрезанная щетка будет вибрировать подобно камертону и в случае резонанса с частотой пластин может возникнуть механическое искрение.

10. Контроль присоединения токопроводов

Контроль качества присоединения арматуры осуществляется путем определения переходного сопротивления между телом щетки и токопроводом или по величине переходного падения напряжения. Определение переходного сопротивления в месте присоединения арматуры осуществляется по схеме амперметра-вольтметра (можно также применить двойной мост). Щетка (фиг. 38) устанавливается на металлическую пластину, служащую токопроводящим электродом, и прижимается к ней; другим электродом служит провод, присоединяемый к наконечнику проводника щетки.



Фиг. 38. Схема для измерения переходного сопротивления места присоединения арматуры.

Падение напряжения в переходном контакте измеряется при номинальном токе посредством милливольтметра, который присоединяется к телу щетки и к токопроводу двумя иглами в целях осуществления точечного контакта. Места соприкасания щетки и токопровода с иглами строго регламентированы, что позволяет

установить нормы отбраковки. Так, игла, присоединяемая к токопроводу, должна касаться его на расстоянии 5 *мм* от щетки. Место присоединения иглы к телу щетки зависит от типа применяемой арматуры, а именно:

в случае применения способа конопатки игла устанавливается на 2 *мм* ниже верхнего края щетки на ближайшей к проводу стороне;

в случае применения способов развальцовки и пайки игла устанавливается на 2 *мм* ниже края шайбы или окружности пайки в сторону рабочей поверхности щетки;

в случае применения способа присоединения токопровода через обойму игла устанавливается на 2 *мм* ниже края обоймы.

Место, в котором игла милливольтметра соприкасается с телом щетки, должно быть очищено от омеднения.

У щетки, имеющей поперечное сечение до 1 $см^2$, переходное сопротивление арматуры не должно превышать 5 *мом*. Для щеток же сечением свыше 1 $см^2$ переходное падение напряжения (при нормальной плотности тока) не должно превышать 50 *мв*.

Пример. Имеется партия щеток марки Г1 с поперечными размерами 12,5×20 *мм*. Поперечное сечение щетки, таким образом, равно 2,5 $см^2$. Согласно табл. 5 плотность тока для марки Г1 будет 7 $а/см^2$; полный ток на щетку составит 2,5×7 = 17,5 *а*.

При измерении переходного сопротивления арматуры оказалось, что величина его колеблется в пределах 2—3 *мом*; таким образом, при прохождении через щетку нормального тока 17,5 *а* падение напряжения в арматуре будет колебаться в пределах 35—52,6 *мв*.

Так как основная часть щеток не выходит за предел 50 *мв*, а отдельные щетки превышают этот предел всего лишь на 5%, то партию в целом можно признать в отношении установки арматуры удовлетворительной.

Величина переходного сопротивления арматуры обусловливает нагрев арматуры. Естественно, что падение напряжения в переходном сопротивлении арматуры, равное 50 *мв*, имеет ничтожное значение по отношению к падению напряжения между щеткой и коллектором, достигающего 1 *в* и выше. Следует учесть, однако, что теплота, выделяемая в скользящем контакте, отводится коллектором, а теплота, выделяемая в переходном сопротивлении арматуры, отводится главным образом по токопроводу и лишь незначительно — поверхностью щетки, поэтому даже небольшие потери в этом сопротивлении могут вызвать большой перегрев арматуры и выход щетки из строя.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ВЫБОР ЭЛЕКТРОЩЕТОК

1. Технические характеристики щеток отечественного производства

В табл. 11 даны основные технические характеристики щеток для электрических машин (ГОСТ 2332-43 с изменением № 2) и внесены некоторые добавления, а именно:

а) Добавлены обозначения групп щеток согласно табл. 2.

б) Добавлены значения твердости, определяемой по методу вдавливания шарика (метод ФНИИ). Значения твердости по этому методу приведены на основании массовых испытаний щеток всех марок, кроме МГ, МГ2, МГС и БГ.

в) Помимо значений удельного сопротивления щеток по данным ГОСТ приведены для сравнения значения удельного сопротивления, полученные при испытании щеточных блоков на установке с разделенными контактами.

г) Наряду со значениями максимальной допустимой окружной скорости даются также значения максимальной допустимой угловой скорости, выраженные в об/мин.

д) Добавлены значения содержания металла (меди, свинца и олова) для щеток металло-графитных марок. Сделано это с целью сопоставления со щетками иностранных щеточных марок в случае замены их отечественными.

е) Добавлены значения допустимой для щетки каждой марки степени трудности коммутации, имеющие сравнительный характер.

ж) Добавлены ориентировочные значения допустимой величины краевого напряжения, т. е. напряжения между сбегающим краем щетки и соответствующей пластиной коллектора. Значения эти получены на основании опытов, проведенных авторами в лабораторных условиях, а также на основании данных эксплуатации.

Ниже приводятся дополняющие пояснения к табл. 11.

1. Щетки марок Т6, Г6 и Г8 являются электрографитными, так как изготовляются с применением термически обеззоленного графита (группа 3д). Выделение электрографитных марок в особую группу по ГОСТ 2332-43 не предусматривается, ввиду чего щетки этих марок отнесены к угольно-графитным и графитным.

2. Щетки марок Г1 и Г2 являются промежуточными между графитными и угольно-графитными.

3. Согласно изменению № 2 из ГОСТ 2332-43 исключены щетки марок Г58 ЭГ6, ЭГ10, М16, М22 и М24, так как некоторые из них выпускались лишь мелкосерийными партиями, другие же фактически не выпускались. Следует указать, однако, что щетки марки ЭГ-10 обладают рядом свойств, позволяющих отвести им особую область применения, где они не могут быть полностью заменены, так как щетки марки ЭГ10 обладают наивысшей твердостью и содержат наибольшее количество сажи. Проведенные опыты дают основание считать, что щетки этой марки хорошо переносят механические толчки, а также затрудненные условия коммутации. Ввиду этого щетки марки ЭГ10 включены в табл. 11. Они могут изготовляться по специальным заказам, и после достаточного опыта применения их в эксплуатации может быть поставлен вопрос о восстановлении этой марки в ГОСТ.

4. Щетки марок ЭГ11, ЭГ12 и ЭГ13 представляют собой варианты щеток марки ЭГ14, пропитанных различными веществами. Как известно, пропитка несколько повышает падение напряжения в скользящем контакте; поэтому во избежание повышенных электрических потерь применять эти щетки рекомендуется при плотности тока порядка 10 $а/см^2$.

5. Как показывает опыт эксплуатации щеток марок МГ, МГ2, МГ6, МГС и БГ, указанные для них в ГОСТ 2332-43 значения плотности тока могут быть допущены лишь в условиях относительно кратковременной или периодической нагрузки, как, например, на кольцах асинхронных двигателей с подъемом щеток, на различных сервомеханизмах и тому подобных маши-

Таблица 11

Технические характеристики электрощеток отечественного производства

Класс щеток	Группа	Марка	Номинальная плотность тока, $a/см^2$	Максимальная окружная скорость, *м/сек*	Максимальная угловая скорость, тыс. об/мин	Удельное нажатие, $г/см^2$	Удельное электрическое сопротивление, $ом \cdot мм^2/м$: Метод амальгамы	Удельное электрическое сопротивление, $ом \cdot мм^2/м$: Метод разделенных контактов	Твердость по Шору	Твердость по методу вдавливания (ФНИИ), $кг/мм^2$	Содержание (средние значения): меди, %	Содержание (средние значения): свинца, %	Содержание (средние значения): олова, %	Переходное падение напряжения на пару щеток, *в*	Коэффициент трения	Износ за 50 час., *мм*	Коммутация	Краевое напряжение, *в*
Угольно-графитные	2б	Т2	6	10	1,5	200—250	40—60	38—58	45—58	16—80	—	—	—	1,5—2,5	0,30	0,10	Несколько затрудненная	8—12
	3д	Т6	6	10	1,5	200—250	40—60	38—58	45—58	12—60	—	—	—	1,5—2,5	0,30	0,10	Несколько затрудненная	8—12
	2б	УГ2	8	15	2,0	200—250	18—20	17—30	40—60	15—50	—	—	—	1,6—2,4	0,25	0,30	Нормальная	5—10
	2б	УГ4	7	12	1,8	200—250	26—38	25—38	45—65	15—60	—	—	—	1,6—2,6	0,25	0,30	Несколько затрудненная	8—12
Графитные	2а—3а	Г1	7	12	1,8	200—250	30—46	29—46	35—50	15—50	—	—	—	1,7—2,7	0,30	0,20	Нормальная	5—10
	2а—3а	Г2	8	15	2,0	200—250	25—37	24—37	40—50	9—40	—	—	—	1,2—2,2	0,25	0,15	Нормальная	5—10
	3а	Г3	10—11	25	3,5	200—250	10—20	8—20	30—40	10—35	—	—	—	1,5—2,3	0,25	0,20	Нормальная	3—7
	3д	Г6	9	18	2,5	200—250	25—42	25—42	35—50	8—32	—	—	—	1,6—2,8	0,25	0,20	Нормальная	5—10
	3д	Г8	11	25	3,0	200—300	10—20	8—20	20—40	6—30	—	—	—	1,5—2,3	0,25	0,15	Нормальная	3—7
Электрографитированные	4б	ЭГ2	10	25	3—5	200—250	20—30	15—30	46—60	10—40	—	—	—	2,15—3,35	0,20	0,10	Несколько затрудненная	8—12
	4б	ЭГ2а	10	45	4—7	—	18—35	14—35	—	12—50	—	—	—	2,0—3,2	0,23	0,15	Несколько затрудненная	8—12
	4а	ЭГ4	12	40	3,0	150—200	10—16	8—16	20—30	3—9	—	—	—	1,6—2,4	0,20	0,25	Нормальная	2—5
	4а	ЭГ5	12	40	3,5	—	10—25	8—20	—	3,5—12	—	—	—	1,8—3,0	0,25	0,20	Нормальная	2—5
	4в	ЭГ8	10	40	5—8	200—400	40—50	31—50	42—55	12—65	—	—	—	1,9—2,9	0,25	0,15	Самая затрудненная	15—20
	4в	ЭГ9	10	40	5—8	—	35—55	28—50	—	30—80	—	—	—	2,4—3,4	0,25	0,15	Самая затрудненная	15—20
	4в	ЭГ10	9	—	5—8	200—250	40—56	28—50	50—70	35—90	—	—	—	1,8—3,0	0,25	0,15	Самая затрудненная	15—20
	4в	ЭГ11	10—11	40	4—5	—	26—42	22—40	—	10—45	—	—	—	2,5—3,5	0,25	0,15	Затрудненная	10—15
	4в	ЭГ12	10—11	40	4—5	—	26—42	22—40	—	10—45	—	—	—	2,5—3,5	0,25	0,15	Затрудненная	10—15
	4в	ЭГ13	10—11	40	5—6	—	26—42	22—40	—	10—50	—	—	—	2,5—3,5	0,25	0,15	Затрудненная	10—15
	4в	ЭГ14	10—11	40	4—5	200—400	26—38	22—36	40—60	10—45	—	—	—	2,0—3,0	0,25	0,15	Затрудненная	10—15
	4в	ЭГ83	9	45	6—9	175—220	35—65	40—55	15—32	8—20	—	—	—	—	0,25	—	Самая затрудненная	20 и выше
	4в	ЭГ84	9	45	7—10	—	35—65	35—60	—	12—40	—	—	—	2,5—3,5	0,25	0,15	Самая затрудненная	20 и выше
Медно-графитные	1г	М1	15	25	3,5	150—200	2—6	1—6	26—38	12—35	52	—	—	1,0—2,0	0,25	0,18	Облегченная	1—1,5
	1г	М3	12	20	3,0	150—200	7—12	5—12	30—40	9—28	27	—	—	1,4—2,2	0,25	0,15	Облегченная	1—1,5
	1г	М6	15	25	3,5	150—200	2—6	1—6	26—35	10—30	52	—	—	1,0—2,0	0,20	0,15	Облегченная	1—1,5
	1г	М20	12	20	3,5	150—200	5—13	4—12	24—36	8—25	27	—	—	1,0—1,8	0,26	0,20	Облегченная	1—1,5
	1б	МГ	20	20	1,5	180—230	0,05—0,15	0,03—0,15	—	6—18	91	—	—	0,1—0,3	0,20	0,80	Самая легкая	до 0,5
	1б	МГ2	20	20	1,8	180—230	0,15—0,35	0,10—0,35	—	6—14	81,5	—	0,5	0,3—0,7	0,20	0,40	Самая легкая	0,5—1
	1в	МГ4	15	20	1,8	200—250	0,3—1,3	0,2—1,3	22—32	15—36	72	—	—	0,6—1,6	0,20	0,30	Самая легкая	0,5—1
	1в	МГ6	18	20	1,8	200—250	0,3—1,3	0,2—1,3	18—30	8—28	72	—	—	0,6—1,4	0,20	0,50	Самая легкая	0,5—1
	1а—1г	МГС5	15	35	4—5	—	2—15	1—12	—	8—28	51	7	—	не более 2,0	0,25	0,50	Облегченная	1—1,5
	1а—1г	МГС6	15	25	4—5	—	3—14	1—12	—	10—30	51	5	—	не более 2,0	0,25	0,25	Облегченная	1—1,5
Бронзо-графитные	1а	МГС	20	20	2,0	—	0,1—0,3	0,05—0,25	—	6—20	88	7	—	не более 0,4	0,25	0,25	Самая легкая	до 0,5
	1а	БГ	20	20	1,5	170—220	0,5—0,9	0,3—0,8	—	8—16	79	—	9	0,2—0,4	0,25	0,25	Самая легкая	до 0,5

нах. При длительной же работе на низковольтных агрегатах (6—12 *в*) во избежание чрезмерного износа щеток указанных марок рекомендуется применять более низкие значения плотности тока (например, порядка 15 *а/см²* для щеток марок МГ2, МГ6, МГС и БГ, и порядка 12 *а/см²* для щеток марок МГ) или же заменять указанные щетки другими, как, например, МГ4, М6, МГС5, МГС6 или же щетками опытных марок. Следует отметить, что при подобной замене могут несколько возрасти электрические потери в скользящем контакте ввиду более высокого переходного падения напряжения у щеток этих марок по сравнению с ранее указанными. Во многих случаях, однако, отмеченное выше некоторое возрастание потерь компенсируется более устойчивой и продолжительной работой щеток.

6. Приведенные в табл. 11 значения удельного нажатия на щетки, взятые из ГОСТ 2332-43, являются оптимальными для большинства машин обычного исполнения, так что в случае необходимости верхний предел может быть превышен с соответственным повышением максимальной окружной скорости. Это, однако, не всегда является выгодным, так как может вызвать чрезмерные потери на трение и износ коллектора, как, например, в случае применения щеток марки Т2.

7. Для щеток марки ЭГ2 указана максимальная окружная скорость 25 *м/сек* при удельном нажатии 200—250 *г/см²*, а для щеток марки ЭГ2а — окружная скорость 45 *м/сек*. Щетки марки ЭГ2а являются вариантом щеток марки ЭГ-2. Обе эти марки в одинаковой степени допускают работу с окружными скоростями порядка 20—25 *м/сек* при удельном нажатии 200—250 *г/см²*. При повышении удельного нажатия до 500 *г/см²* щетки марки ЭГ2а могут работать при окружной скорости порядка 40 *м/сек;* для щетки марки ЭГ2, как несколько более мягкой, можно рекомендовать максимальное удельное нажатие порядка 400 *г/см²* и соответственно этому окружную скорость порядка 35 *м/сек*.

8. Для щеток марки ЭГ5 можно рекомендовать значение удельного нажатия порядка 175—200 *г/см²*.

9. Как показал опыт последних лет, щетки марки ЭГ8 в ряде случаев (например, при механических толчках, высокой угловой скорости и т. д.) успешно работают при удельном нажатии до 800—1 000 *г/см²*, а щетки ЭГ9 и ЭГ10 — при нажатиях порядка 1 000 *г/см²*; при этом повышение удельного нажатия щеток не вызывает заметного возрастания износа коллектора, а также ухудшения коммутации.

10. Для щеток марок ЭГ11, ЭГ12 и ЭГ13 в ГОСТ 2332-43 не приведены данные в отношении удельного нажатия; по аналогии со щеткой исходной марки ЭГ14 для них также можно принять значения удельного нажатия порядка 200—500 *г/см²*.

11. Основное назначение щеток марок ЭГ83 и ЭГ84 — работа при наиболее высоких окружных скоростях и наиболее затрудненной коммутации. Для максимального использования свойств щеток этих марок рекомендуется применять щетки с твердостью, лежащей ближе к нижнему пределу. Кроме того, щетка марки ЭГ84, как менее пористая и более плотная, чем щетка марки ЭГ83, при затрудненных условиях работы (механические толчки) наиболее успешно работает при повышенных значениях удельного нажатия, порядка 500 *г/см²*.

12. Как показывает опыт эксплуатации щеток марок МГ, МГ2, МГС и БГ, указанные для них в ГОСТ 2332-43 значения максимальной окружной скорости могут быть допущены лишь в условиях относительно кратковременной или периодической нагрузки, как, например, на кольцах асинхронных двигателей с подъемом щеток, на различных сервомеханизмах и тому подобных машинах. При длительной же работе во избежание чрезмерного износа щеток указанных марок рекомендуется принять более низкие значения окружной скорости (например, порядка 15 *м/сек* для щетки марки МГС и порядка 12—15 *м/сек* для щеток марок МГ, МГ2 и БГ).

13. Щетки марок МГС5 и МГС6, как это видно из таблицы, весьма сходны между собой как по составу, так и по характеристикам. Разница значений окружных скоростей, указанная в таблице для щеток этих марок, объясняется тем, что щетки марки МГС5 разрабатывались для машин с относительно повышенными окружными скоростями, ввиду чего для нее в ГОСТ 2332-45 указано и более высокое значение износа. Ввиду указанного выше сходства щетки обеих марок можно считать при одинаковых условиях эксплуатации практически взаимозаменяемыми.

Рекомендуемые значения удельного нажатия для щеток этих марок лежат в пределах 175—250 *г/см²*.

14. Значение удельного нажатия для щеток марки МГС при работе их на машинах длительного режима (например, низковольтные генераторы, кольца и т. д.) лежит в пределах 180—250 *г/см²*.

15. Для щеток марок ЭГ2а, ЭГ5, ЭГ9, ЭГ11, ЭГ12, ЭГ13 и ЭГ14 в ГОСТ 2332-43 не даны значения твердости по Шору, так как щетки этих марок были разработаны в последнее время, когда уже окончательно было доказано, что твердость по Шору ввиду общеизвестных недостатков метода Шора (в особенности в применении к электроугольным изделиям) не может являться браковочным признаком.

16. Приведенные значения переходного падения напряжения, коэффициента трения и износа получены при испытаниях щеточных образцов на установках с короткозамкнутыми коллекторами при следующих условиях:

окружная скорость скользящего контакта — 15 *м/сек*; плотность тока — согласно значениям, указанным в 4-м столбце таблицы.

Удельное нажатие на щетки:

220 *г/см²* для щеток, не содержащих металла;

220 *г/см²* для щеток марок М1, М3, М6, М20, МГ4, МГ6, МГС5, МГС6;

175 *г/см²* для щеток марок МГ, МГ2, МГС, БГ.

17. Для щеток марок УГ2 и УГ4 их износ в большинстве случаев не превышает 0,10—0,15 *мм* за 50 час.

18. В таблице не указаны значения переходного падения напряжения и износа для щеток марки ЭГ83; значения эти практически не отличаются от значений тех же величин, принятых для щеток марки ЭГ84.

19. Низкий (по сравнению со щетками МГ, МГ2 и МГС) износ щеток марки БГ не является преимуществом этой марки щеток, так как вследствие своей жесткости щетки этой марки нередко вызывают сильнейший износ коллектора.

2. Область применения электрощеток отечественного производства

Область применения электрощеток отечественного производства приведена в табл. 12.

3. Особенности работы электрощеток в малогабаритных машинах и в машинах кратковременного действия

а) Стартеры

Стартерные двигатели работают в течение всего лишь нескольких секунд; ввиду этого для всех частей, подвергающихся нагреву, можно допускать значительные перегрузки. Сказанное относится также и к щеткам. Стартерные щетки (МГС) работают обычно при плотностях тока порядка нескольких десятков или даже до сотни ампер на 1 *см²*, т. е. в 5—10 раз выше обычных значений. Во избежание потери напряжения в скользящем контакте, а также ввиду механических толчков и ударов при пуске на щетки дается повышенное удельное нажатие, также превышающее в несколько раз обычные значения.

Для стартеров более высокого напряжения рекомендуется выбирать щетки с низким и пониженным значением переходного

Таблица 12

Область применения электрощеток отечественного производства

Марка щеток	Краткая общая характеристика	Область применения
Т2	Твердая угольно-графитная	Коллекторы машин постоянного и переменного тока напряжением 120—220 *в*, с затрудненной коммутацией, но с низкими окружной скоростью (до 10 *м/сек*) и числом оборотов. Тяговые двигатели сравнительно небольшой мощности, в частности трамвайные. Крановые двигатели. Электродвигатели малой мощности (кассовые, вентиляторные и т. д.), коллекторные машины переменного тока (небольших размеров). Выдерживает толчкообразную нагрузку и механические сотрясения. Очищает коллектор в случае загрязнения
Т6	Твердая электро-графитная; изготовляется подобно Т2, но с применением обеззоленного графита	Марка Т6 выпускается редко и применение ее в эксплуатации недостаточно изучено. Дает меньший износ коллектора, чем Т2. Можно примеиять в тех случаях, когда марки Т2 и Г1 работают неудовлетворительно
УГ2	Твердая угольно-графитная	Область применения недостаточно изучена. Можно применять вместо марки Г1 (в случае неудовлетворительной работы последней)
УГ4	Твердая угольно-графитная	Область применения недостаточно изучена. Можно применять вместо марки Т2 (в случае неудовлетворительной работы последней)
Г1	Угольно - графитная средней твердости	Коллекторы машин постоянного тока напряжением 120 — 220 *в* с более или менее затрудненной коммутацией, но с низкой окружной скоростью (до 12 *м/сек*). Всевозможные двигатели и генераторы сравнительно небольшой мощности (порядка 10 — 20 *квт*). Малогабаритные двигатели
Г2	Угольно - графитная средней твердости	Коллекторы машин постоянного тока напряжением 120 *в* с нормальной коммутацией и равномерной нагрузкой. По сравнению с Г1 марка Г2 допускает несколько более высокую окружную скорость и может применяться на машинах несколько большей мощности (например, стационарные генераторы, двигатели с постоянной нагрузкой), но требует менее затрудненной коммутации. Может применяться также на сварочных генераторах
Г3	Графитная	Коллекторы машин постоянного тока напряжением 80 — 120 *в* с нормальной коммутацией и равномерной нагрузкой. По сравнению с Г2 марка Г3 допускает более высокую окружную скорость, но требует менее затрудненной комм уации

Продолжение табл. 12

Марка щеток	Краткая общая характеристика	Область применения
		Генераторы для электролиза и тому подобные машины на большую силу тока. Сварочные генераторы. Кольца возбуждения синхронных генераторов. Кольца одноякорных преобразователей и асинхронных двигателей (при сравнительно небольших токах), в частности с постоянно налегающими щетками
Г6	Электрографитная. Изготовление подобно Г1, но с применением обеззоленного графита	Область применения недостаточно изучена; марка Г6 выпускается редко. Наиболее близкими по характеристикам являются марки Г2 и Г3
Г8	Электрографитная. Изготовление подобно Г3, но с применением обеззоленного графита	Область применения аналогична Г3, но по сравнению с последней марка Г8 в большей степени рекомендуется для колец и в меньшей — для коллекторов
ЭГ2 и ЭГ2а	Электрографитированные средней твердости, несколько отличающиеся по технологии изготовления; ЭГ2а является сравнительно менее дефицитной, чем ЭГ2	По сравнению со всеми остальными марками щеток щетки марки ЭГ2 обладают самым низким износом. Щетки марки ЭГ2, имевшие в довоенный период широкое применение на машинах постоянного тока напряжением 120—440 *в*: генераторах, тяговых двигателях и т. п., в дальнейшем были вытеснены щетками марки ЭГ14, более простыми в изготовлении и в то же время превосходящими ЭГ2 как в отношении допустимой окружной скорости, так и в отношении коммутации. В настоящее время выяснилось, однако, что щетки марок ЭГ2 и ЭГ2а превосходят ЭГ14 в отношении устойчивости к механическим толчкам и ударам, ввиду чего щетки указанных марок (в особенности ЭГ2а) вновь находят себе применение на тяговых двигателях электровозов и мотор-вагонов. Кроме того щетки марки ЭГ2 применяются также в малогабаритных электромашинах, приводах сервомеханизмов и т. п.
ЭГ4	Мягкая электрографитированная	Основная область применения — кольца возбуждения быстроходных турбогенераторов и одноякорных преобразователей. Также применяется на коллекторах машин постоянного тока напряжением 80 — 120 *в*. По сравнению со щетками марки Г3 допускает более высокую окружную скорость, но требует менее затрудненной коммутации
ЭГ5	Представляет собой вариант щетки марки ЭГ4, пропитанной бакелитом (для повышения прочности)	Щетки марки ЭГ5 применяются в тех случаях, когда щетки марки ЭГ4 работают неудовлетворительно вследствие повышенного износа, в частности на различных малогабаритных машинах пониженного напряжения,

Марка щеток	Краткая общая характеристика	Область применения
		где применение щеток марок М1, М3 и М2 исключается из-за повышенной температуры, повышенного числа оборотов и тому подобных причин
ЭГ8	Твердая электрографитированная	Применяется на тяговых двигателях с затрудненной коммутацией, а также на коллекторах быстроходных двигателей генераторов постоянного тока, в частности, малогабаритных машин с высоким числом оборотов (сервомоторы и т. д) Может применяться также на стальных кольцах быстроходных машин переменного тока в тех случаях, когда щетки марки ЭГ4 неприменимы вследствие механического искрения Является одной из лучших марок электрографитированных щеток группы 4В
ЭГ9	Твердая электрографитированная, вариант марки ЭГ8. По сравнению с последней отличается более высокой твердостью и механической прочностью	Применяется на тяговых двигателях, генераторах с толчкообразной нагрузкой и тому подобных машинах в тех случаях, когда щетки марки ЭГ8 работают неудовлетворительно вследствие повышенного коммутационного искрения, износа и сколов
ЭГ10	Твердая электрографитированная	Свойства и область применения аналогичны щеткам марки ЭГ9
ЭГ11	Марка эта представляет собой вариант щеток марки ЭГ14, пропитанной парафином	Применяется взамен щеток марки ЭГ14 в тех случаях, когда щетки этой марки работают неудовлетворительно вследствие механического искрения, повышенного коэффициента трения или коррозии, вызванной поглощением влаги из окружающей среды. Пропитка парафином уменьшает склонность щетки к поглощению влаги из воздуха, уменьшает коэффициент трения, а также склонность щеток к механическому искрению, повышая этим самым допустимую окружную скорость. Необходимо, однако, чтобы содержание пропитки в щетках не превышало 0,3 — 0,5% (по весу), в противном случае щетки будут пачкать коллектор. Исключение может быть сделано лишь для тех случаев, когда щетки работают при повышенном удельном нажатии, порядка 400 *г/см²* и выше; при этом содержание пропитки в щетках может доходить до 1%
ЭГ12	Щетки этой марки представляют собой вариант щеток марки ЭГ14, пропитанной металлическим мылом	Область применения — подобно щеткам марок ЭГ11

Марка щеток	Краткая общая характеристика	Область применения
ЭГ13	Щетки этой марки представляют собой вариант щеток марки ЭГ14, пропитанной бакелитом (для повышения прочности)	Щетки марки ЭГ13 применяются в тех случаях, когда щетки марки ЭГ14 работают неудовлетворительно вследствие сколов, бокового износа при ударах щетки о стенки коробки щеткодержателя и тому подобных явлений. Щетки марки ЭГ13 наряду со щетками марки ЭГ2а успешно заменяют в ряде случаев щетки марки ЭГ14 на двигателях электровозов и мотор-вагонов
ЭГ14	Твердая электрографитированная	Основная область применения — тяговые двигатели с затрудненной коммутацией и толчкообразной нагрузкой, главным образом трамвайные, электровозные, крановые и тому подобные двигатели. Щетки марки ЭГ14 следует применять вместо Т2, Г1 и ЭГ2 в тех случаях, когда щетки указанных марок неприменимы вследствие механического искрения
ЭГ40	Опытный вариант щеток марки ЭГ4 (не вошедший в ГОСТ 2332-43), отличающийся несколько более высокой температурой графитации	Заменяет щетки марки ЭГ4 в случае появления механического искрения при работе щеток марки ЭГ4, в особенности на кольцах
ЭГ83	Пористая электрографитированная; по составу относится к группе 4в	Основная область применения — коллекторы турбогенераторов постоянного тока и тому подобных машин с самыми трудными условиями коммутации и самыми высокими значениями окружной скорости; также малогабаритные машины с высоким числом оборотов и затрудненной коммутацией (сервомеханизмы и др.) Щетки обладают способностью тонкой полировки коллектора
ЭГ84	Вариант щетки марки ЭГ83, отличающийся несколько более высокой плотностью, но зато несколько более склонен к механическому искрению	Подобно щеткам марки ЭГ83. Рекомендуется несколько более повышенное значение удельного нажатия, чем для щеток марки ЭГ83
М1	Медно-графитная с содержанием меди около 52%	Автомобильные генераторы. Зарядные генераторы напряжением ниже 60 *в*. Стартеры напряжением порядка 24 *в* и выше. Кольца синхронных генераторов, одноякорных преобразователей и асинхронных двигателей
М3	Медно-графитная с содержанием меди около 27%	Автомобильные генераторы. Зарядные генераторы (ниже 80 *в*). Небольшие тяговые двигатели пониженного напряжения (например, для электрокар). Кольца синхронных машин

Марка щеток	Краткая общая характеристика	Область применения
М6	Марка аналогичная М1, но с применением обеззоленного графита	Небольшие двигатели и генераторы напряжением от 25 до 80 *в* в зависимости от числа оборотов и трудности коммутации; чем выше число оборотов и чем более затруднена коммутация, тем для более низкого напряжения предназначаются щетки марки М6. Рекомендуется для замены щеток марки М1 в тех случаях, когда они искрят (механическое искрение) или вызывают повышенный износ коллектора
М20	Аналогичная М3, но с применением обеззоленного графита	Область применения недостаточно изучена; щетки марки М20 выпускаются редко. Наиболее близкими по характеристикам являются щетки марок М1, М6 и М3
МГ	Медно-графитная, с содержанием меди около 91%	Предназначалась для работы на кольцах асинхронных двигателей, на стартерах до 6 *в* и машинах низкого напряжения, требующих щеток с высокой плотностью тока; однако ввиду сильного износа рекомендуется применять щетки этой марки лишь в тех случаях, когда требуются щетки с самыми малыми электрическими потерями, при небольшой окружной скорости и плотности тока
МГ4	Медно-графитная, с содержанием меди около 72%	Кольца одноякорных преобразователей и асинхронных двигателей. Кольца возбуждения синхронных генераторов. Низковольтные генераторы и двигатели (до 40 *в*)
МГ6	Аналогичная МГ4, но с применением обеззоленного графита	Область применения аналогична МГ4, в особенности в тех случаях, когда щетки марки МГ4 искрят или вызывают повышенный износ коллектора. Низковольтные малогабаритные машины
МГС5 и МГС6	Металло-графитные, изготовляемые с применением обеззоленного графита; по содержанию меди соответствуют щеткам марок М1 и М6, но содержат дополнительно 5—7% свинца	Область применения их соответствует области применения щеток марок М1 и М6
МГС	Бронзо-графитная марка с содержанием меди до 88% и с примесью свинца до 7%	Применяется на кольцах асинхронных двигателей и одноякорных преобразователей, на низковольтных машинах (до 12 *в*), стартерах, зарядных генераторах и т. п.
БГ	Бронзо-графитная марка с содержанием меди до 79% и с примесью олова до 9%	Предназначалась для той же области применения, что и щетки марки МГ. Крупным недостатком щеток марки БГ является ее непостоянство в отношении износа; в одних случаях щетки сильно изнашивают коллектор, в других случаях изнашиваются сами подобно щеткам марки МГ

падения напряжения, т. е. с высоким и повышенным значением содержания металла, вплоть до щеток марок МГ4, М1, МГС5 и МГС6.

б) Малогабаритные двигатели и генераторы с большим числом оборотов

Сюда входят всевозможные автомобильные, авиационные машины, сервомеханизмы и т. п. Современное развитие техники характеризуется широким применением электропривода в машиностроении, поэтому малогабаритные быстроходные электромашины получают все большее распространение. Необходимо особо остановиться на вопросах подбора щеток для этих машин, так как особенности их эксплуатации создают ряд специфических трудностей для работы щеток.

Прежде всего нужно указать, что хотя окружная скорость скользящего контакта для этих машин в большинстве случаев относительно невелика, тем не менее высокая угловая скорость нередко вызывает механическое искрение щеток, а также повышенный их износ; отсюда следует, что для подобных машин требуются щетки, предназначенные для высоких окружных и угловых скоростей. Подбор щеток для машин напряжением от 50—80 до 250—400 *в* не представляет особых трудностей; здесь следует применять твердые электрографитированные щетки, а также щетки средней твердости, т. е. все электрографитированные марки щеток за исключением ЭГ4 и ЭГ5.

Для машин с числом оборотов порядка 3—4 тыс. в минуту и ниже рекомендуется применять щетки марки ЭГ2; щетки эти сами изнашиваются незначительно и почти не вызывают износа коллектора.

При более высокой скорости вращения можно применять щетки марок ЭГ14, ЭГ11 и ЭГ12, далее ЭГ8 и, наконец, для самых высоких скоростей ЭГ83. Щетки марок ЭГ2а, ЭГ13, ЭГ9, ЭГ10 и ЭГ84 можно применять взамен указанных выше в тех случаях, когда от щеток требуется более высокая механическая прочность.

Малогабаритные быстроходные машины в большинстве случаев характеризуются затрудненной коммутацией; в особенности это относится к машинам напряжением выше 250—400 *в*. Для этих машин лучше всего применять щетки марки ЭГ83 или же опытные марки, разрабатываемые заводами и институтами электроугольной промышленности.

Еще бо́льшие трудности нередко возникают для малогабаритных быстроходных машин пониженного и низкого напряжения. Нередко бой коллекторов этих машин превышает 0,02 *мм*, что приводит к резкому возрастанию износа щеток. Так, например, испытание щеток марки ЭГ13 на автомобильных генераторах дало следующие результаты:

Бой коллектора, *мм*	0,015	0,020	0,025	0,030
Износ щеток *мм*/50 час (максимальный)	0,05	0,14	0,20	0,35

Таким образом, у машин, бой коллекторов которых не превышал установленного предела 0,02 *мм*, износ щеток также не выходил за пределы, предусмотренные ГОСТ 2332-43 (0,15 *мм*/50 час.). Это обстоятельство следует учитывать предприятиям — изготовителям электромашин.

Другая трудность заключается в том, что для машин напряжением порядка 20—30 *в* следовало бы применить щетки группы Iв (МГ4, МГ6); однако из-за трудной коммутации, связанной, как указывалось выше, с высокой угловой скоростью и максимальным использованием активных материалов, здесь часто оказываются неприменимыми даже щетки группы Iг (М1, М6, М3, М20, МГС5, МГС6) и приходится применять щетки, не содержащие металла, как, например, Г2, обладающие по сравнению с другими подобными щетками наименьшим падением напряжения в скользящем контакте.

Повышенная температура машин также служит препятствием для применения щеток металло-графитных марок, которые обычно приходится заменять электрографитированными щетками.

С целью ослабить механическое искрение, вызванное высокой скоростью вращения машины, а также для того, чтобы снизить падение напряжения в скользящем контакте, на щетки дается удельное нажатие, значительно выше обычного, что иногда приводит к увеличению потерь на трение и отсюда — к перегреву коллектора, а также к увеличению износа щеток и коллектора.

При конструировании машин с высоким следует подбирать марку щетки опытным путем, пробуя ряд щеток, в том числе и опытных, еще до изготовления окончательного варианта машины, изменяя размеры щеток, нажатие на них и тому подобные параметры. Эту работу нужно производить в тесном взаимодействии с лабораториями и институтами электроугольной промышленности.

4. Выбор электрощеток отечественного производства

Выбор марки отечественных электрощеток следует производить, руководствуясь табл. 13, где указаны марки, рекомендуемые для каждого класса и типа машин. В предпоследнем столбце указаны марки щеток, рекомендуемые для применения в качестве основных, в последнем столбце указаны марки щеток, применение которых в данном случае или недостаточно изучено, но которые все же рекомендуется испробовать на данном объекте, или же марки щеток, которые следует применить в случае плохой работы щеток, рекомендуемых в качестве основных.

Применение табл. 13 поясняется рядом примеров, приводимых ниже.

Пример 1. Асинхронный двигатель с подъемом щеток.

В данном случае подходят щетки марки МГС. Может случиться, однако, что в наличии не окажется блоков щеток этой марки; в таком случае можно без опасений применять щетки марки МГ или МГ2, так как щетки работают

Таблица 13

Выбор электрощеток отечественных марок

Машины (тип и назначение)	Условия работы		Марки щеток, рекомендуемые для применения	
	Плотность тока, $a/см^2$	Окружная скорость, *м/сек*	в качестве основных	во вторую очередь
I. Двигатели постоянного тока				
1. Двигатели общепромышленного применения				
а) Напряжением 120 *в*, с нормальной коммутацией и постоянной нагрузкой, мощностью 10—30 *квт*	До 8	До 15	Г2	Г1, УГ2, УГ4
б) То же, мощность 50 *квт*	До 10	До 20	ЭГ2, ЭГ14	ЭГ11, ЭГ12
в) Напряжением 120 — 220 *в*, с нормальной или несколько затрудненной коммутацией, с меняющейся нагрузкой, мощностью порядка 100 *квт*	До 10	20—25	ЭГ14	ЭГ2, ЭГ11, ЭГ12
2. Двигатели подъемников, кранов, насосов				
а) Небольшой мощности (10—25 *квт*)	До 8	До 15	Г2	В случае, если ни одна из этих трех марок не подойдет, следует применить ЭГ14, ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ84
б) То же, с несколько более трудными условиями работы, до 500 *в*	До 7	До 12	Г1	
в) То же, в случае затрудненной коммутации и загрязнения коллектора, до 500 *в*	До 6	До 10	Т2	
г) Средней и большой мощности, в том числе реверсивные, до 500 *в*	До 10	До 15	ЭГ2, ЭГ2а, ЭГ13, ЭГ14	ЭГ8, ЭГ9
д) То же	До 10	15—30	ЭГ14, ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10	ЭГ83, ЭГ84
е) То же, напряжением 500 *в* и выше, но без загрязнения коллектора	До 9	До 50	ЭГ83, ЭГ84	В случае неудовлетворительной работы испробовать опытные марки по рекомендации электроугольных заводов и институтов
3. Вспомогательные механизмы прокатных станов				
а) Механические сотрясения, толчкообразная нагрузка	До 10	До 30—40	ЭГ8, ЭГ9 ЭГ10	То же

Продолжение табл. 13

Машины (тип и назначение)	Условия работы		Марки щеток, рекомендуемые для применения	
	Плотность тока, $a/см^2$	Окружная скорость, *м/сек*	в качестве основных	во вторую очередь
б) Высокое напряжение, очень затрудненная коммутация; слюда выбрана	До 9	До 50	ЭГ83, ЭГ84	В случае неудовлетворительной работы испробовать опытные марки по рекомендации электроугольных заводов и институтов
4. Приводы прокатных станов	9—10	До 30—40	ЭГ8, ЭГ14, ЭГ9, ЭГ10	То же
Двигатели реверсивные и нереверсивные, для блюмингов, слябингов, рельсобалочных станов и т. д.	До 9	До 50	ЭГ83, ЭГ84	То же
5. Тяговые двигатели				
а) Быстроходных электровозов напряжением 500 *в* и выше	До 10	30—40	ЭГ8, ЭГ83 ЭГ84	То же
б) Напряжением 220—500 *в*	До 10	30	ЭГ13, ЭГ14 ЭГ8	То же
в) Напряжением 100—220 *в*	До 10	20—30	ЭГ13, ЭГ14, ЭГ2А	То же
г) Пониженного напряжения (шахтные электровозы)	10—12	До 20	Г3, М3	ЭГ4, ЭГ5, Г8, МГС5, МГС6
6. Прочие двигатели (сервомеханизмы)				
а) Малогабаритные двигатели для электроинструмента и тому подобных целей напряжением 110—220 *в*	До 6	До 10	Т2	Г1, ЭГ2, УГ2, УГ4, ЭГ84
б) Стартеры напряжением 18—24 *в*	—	—	МГ4, М1 МГС5, МГС6 МГС	Опытные марки
в) Стартеры напряжением 6—12 *в*	—	—		
7. Малогабаритные быстроходные машины (двигатели, преобразователи и т. д.)				

Продолжение табл. 13

Машины (тип и назначение)	Условия работы		Марки щеток, рекомендуемые для применения	
	Плотность тока, $a/см^2$	Угловая скорость, тыс. об/мин	в качестве основных	во вторую очередь
а) Напряжением от 50 *в* и выше	До 10	До 5	ЭГ2, ЭГ2а ЭГ8	ЭГ14, ЭГ11, ЭГ12, ЭГ8
б) То же	До 10	До 7—8		ЭГ9, ЭГ10, ЭГ83, ЭГ84
в) То же	До 10	До 10	ЭГ83, ЭГ84	Опытные марки
г) Напряжением 20—50 *в*	До 15	До 4	МГС5, МГС6, ЭГ5	М3, М20, Г2, опытные марки
д) То же	До 15	Свыше 4	—	Опытные марки
е) Напряжением до 20 *в*	Свыше 10	До 2	МГС, МГ6	Опытные марки
ж) То же	Свыше 10	Свыше 2	—	Опытные марки
II. Генераторы постоянного тока				
1. Стационарные генераторы и коллекторы одноякорных преобразователей		Окружная скорость, *м/сек*		
а) Малой мощности (до 20—30 *квт*) напряжением 110 *в*	До 9	До 15	Г2	ЭГ2, ЭГ14
б) Средней и большой мощности напряжением 110 *в*, нагрузка равномерная, коммутация нормальная	До 10	20—25	Г3—Г2	ЭГ2, ЭГ4, ЭГ14, ЭГ8
в) То же, напряжением 110—220 *в* и выше, нагрузка толчкообразная, коммутация несколько затрудненная; в том числе генераторы агрегатов Леонарда и Ильгнера	До 10	20—30	ЭГ14, ЭГ8, ЭГ11, ЭГ12	В случае, если ни одна из этих марок не подойдет, испробовать опытные марки
г) То же	До 10	До 40—50	ЭГ83, ЭГ84	То же
2. Возбудители генераторов и турбогенераторов				
а) Малой мощности	До 8	До 15	Г2	ЭГ2, ЭГ14
б) С повышенными нагрузками	До 10	До 20—25	Г3	ЭГ4, ЭГ14, ЭГ8, ЭГ11 ЭГ12,

Продолжение табл. 13

Машины (тип и назначение)	Условия работы		Марки щеток, рекомендуемые для применения	
	Плотность тока, $a/см^2$	Окружная скорость, $м/сек$	в качестве основных	во вторую очередь
в) Быстроходные	До 10	20—30	ЭГ11, ЭГ12, ЭГ14, ЭГ8, ЭГ9	В случае, если ни одна из этих марок не подойдет, испробовать опытные марки
г) То же	До 9	40—50 и выше	ЭГ83, ЭГ84	
3. Сварочные генераторы	—	—	Г3, ЭГ4	Г8, ЭГ8, ЭГ14
4. Генераторы пониженного напряжения (для зарядки батарей, для электролиза)				
а) До 80 *в*				
б) До 40 *в*	До 12	До 20	ЭГ4	Г3, М3, Г8
в) 12—24 *в*	До 12	До 20	М1, М6	М3, М20, МГС5, МГС6
г) До 12 *в*	10—15	До 20	МГ4, МГ6	М1, М6, МГС5, МГС6
	До 20	До 20	МГС	Опытные марки
III. Коллекторные двигатели переменного тока				
1. Трехфазные двигатели всех мощностей				
а) Со щетками нормальной толщины	До 9	До 50	ЭГ83, ЭГ84	Если ни одна из указанных марок не подойдет, то применить опытные марки
б) С узкими (тонкими) щетками	До 10	30—40	ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ83, ЭГ84	То же
2. Однофазные двигатели малой мощности	До 6	До 10	Т2, Г1	УГ2, УГ4, ЭГ14, ЭГ2, ЭГ2а
IV. Двигатели и генераторы переменного тока (кольца)				
1. Асинхронные двигатели всех мощностей с подъемом щеток				
а) С повышенной плотностью тока	До 20	До 15	МГС	МГ, МГ2
б) С повышенной окружной скоростью	До 15	До 25	МГС	МГ4, МГ6, МГ, МГ2

Продолжение табл. 13

Машины (тип и назначение)	Условия работы		Марки щеток, рекомендуемые для применения	
	Плотность тока, $a/см^2$	Окружная скорость, $м/сек$	в качестве основных	во вторую очередь
2. Асинхронные двигатели всех мощностей, с постоянно налегающими щетками, а также кольца одноякорных преобразователей				
а) С повышенной плотностью тока	До 20	До 15	МГС	Опытные марки
б) С повышенной окружной скоростью	До 15	До 25	—	В зависимости от условий эксплуатации рекомендуется применять поочередно марки в следующем порядке: МГС, МГ4, МГ6, ЭГ4, ЭГ5, Г3, Г8, М6, М1, МГС5, МГС6
в) С нормальной плотностью тока	10—12	До 25	МГ4, МГ6, ЭГ4	Г3, Г8, М6, М1, МГС5, МГС6
3. Кольца возбуждения синхронных генераторов и двигателей всех мощностей и напряжений				
а) Низкая окружная скорость	До 8	До 15	Г3, Г2	—
б) Средняя окружная скорость	10—12	До 25	МГ4, ЭГ4	Г3, Г8, М6, М1, М3, М20 МГС5, МГС6
в) Повышенная окружная скорость	До 10	25—40	ЭГ4, ЭГ14, ЭГ11, ЭГ12,	ЭГ83, опытные марки
г) Высокая окружная скорость	До 9	Свыше 40	ЭГ83	Опытные марки

только в момент пуска и смогут служить достаточно долго, прежде чем заметно износятся сами или начнут изнашивать контактные кольца ротора.

Пример 2. Кольца асинхронного двигателя с постоянно налегающими щетками, плотность тока до 20 *а/см*^{2}.

В этом случае следует применять только щетки марки МГС или же какие-либо новые опытные марки, могущие быть предложенными заводами-изготовителями. Щетки марок МГ и МГ2 в данном случае не рекомендуется применять из-за возможного большого износа, а щетки марки МГ4 — из-за слишком большой плотности тока и в связи с этим перегрева колец и арматуры щеток.

Пример 3. Кольца одноякорного преобразователя. Окружная скорость 25 *м/сек*; плотность тока 15 *а/см*^{2}.

Из всех марок щеток, перечисленных в табл. 13, для данного случая нельзя с полной уверенностью рекомендовать ни одну; имеется ряд марок щеток, которые следует испробовать.

Исходя из данных табл. 12, а также гл. 2, нетрудно предвидеть возможные неполадки при применении марок электрощеток, указанных в табл. 13.

Для щеток марки МГС окружная скорость 25 *м/сек* может оказаться слишком высокой; в таком случае будут иметь место механическое искрение, а также повышенный износ щеток.

То же (хотя и в меньшей степени) можно сказать и о щетках марки МГ4; кроме того, вследствие более высокого, чем у группы 1а, переходного падения напряжения щетки МГ4 могут оказаться причиной некоторого перегрева колец, а также арматуры щеток.

Для щеток марок М1 и М6, а также МГС5 и МГС6 окружная скорость 25 *м/сек* быть может и не окажется слишком высокой, но опасность перегрева колец и арматуры будет больше, чем для МГ4.

Щетки марок ЭГ4, ЭГ5, Г3 и Г8 здесь, по всей вероятности, вовсе не подойдут из-за высокой (для них) плотности тока. Опасность перегрева в этом случае будет наибольшей, в то время как опасность механического искрения — наименьшей (по сравнению с марками МГС, МГ4, М1 и М6). Следует напомнить, однако, что все приведенные выше указания носят общий характер и что необходимо также учитывать конкретные условия данного случая. Так, например, если ротор преобразователя хорошо отбалансирован и кольца имеют спокойный ход, а в то же время желательно иметь наименьший нагрев колец, то можно почти с полной уверенностью применить щетки марки МГС или МГ4. Наоборот, если кольца имеют некоторый бой или игру, а вопрос нагрева не имеет особого значения, то в первую очередь надо испробовать щетки марки ЭГ4 и Г3, а также Г8.

Пример 4. Стальные кольца возбуждения синхронной машины. Высокая окружная скорость (свыше 40 *м/сек*). Пониженная плотность тока (до 9 *а/см*^{2}).

Для этих условий работы выпускаются две группы марок щеток: 3б и 4а, т. е. натурально-графитные и мягкие электрографитированные.

Для выпускаемых мягких электрографитированных щеток (группа 4а) марки ЭГ4 скорость 40 *м/сек* нередко бывает слишком высокой и они искрят.

В данном случае, безусловно, подойдут щетки марки ЭГ83, хотя основное назначение этой марки щеток не кольца, а быстроходные коллекторы с затрудненной коммутацией. В случае, однако, каких-либо затруднений с получением щеток марки ЭГ83 (так как щетки этой марки являются довольно дефицитными и сравнительно сложными в изготовлении) можно применить щетки марки ЭГ4, ЭГ14, ЭГ11 и ЭГ12. Последние три особенно рекомендуются в тех случаях, когда по условиям работы щетки марки ЭГ83 или ЭГ4 окажутся недостаточно механически прочными.

Следует указать, что в данном случае рекомендуется применить щетки ЭГ4 и ЭГ14 с возможно меньшей твердостью, если будет возможность подобрать такие щетки, так как механическое искрение у этих щеток будет меньшим; здесь окажутся менее подходящими щетки, твердость которых приближается к верхнему пределу (например, для щеток марки ЭГ4 — твердость по Шору 28—30 и для ЭГ14 — 55—60).

Пример 5. Стационарный генератор постоянного тока мощностью 100 *квт*, напряжением 120 *в*; нормальная коммутация, спокойная (постоянная) нагрузка, окружная скорость 18 *м/сек*, плотность тока 9 *а/см*^{2}.

Это распространенный тип машин. Для этого случая рекомендуется шесть марок щеток: Г3, Г2, ЭГ2, ЭГ4, ЭГ8 и ЭГ14. Следует применить прежде всего щетки марки Г3. Если при этом будет иметь место механическое искрение, то в этом случае должны подойти щетки марки ЭГ4. Если же появится коммутационное искрение, то лучшие результаты дают щетки марки Г2. Для них, однако, плотность тока 9 *а/см*^{2} может оказаться несколько высокой; в таком случае придется применить щетки марки ЭГ2. Если и в этом случае коммутация окажется неудовлетворительной, то щетки марки ЭГ14 или ЭГ8, безусловно, дадут нужный результат.

Пример 6. Крановый двигатель постоянного тока напряжением 120 *в*. Для этого случая рекомендуется ряд марок щеток: ЭГ8, ЭГ14, ЭГ11, ЭГ12, ЭГ2, Т2, Г2, Г1. Применение той или иной из них зависит от условий эксплуатации:

а) Окружная скорость 10 *м/сек*, плотность тока 6 *а/см*^{2}; коллектор подвергается загрязнению вследствие дыма и пыли. В этом случае, безусловно, лучше всего применить щетки марки Т2, которые не боятся механических толчков, очищают коллектор и хорошо коммутируют.

б) Плотность тока 8 *а/см*^{2}, окружная скорость 15 *м/сек*.

Здесь следует применить щетки марки Г1 или Г2. В случае неудовлетворительной коммутации или наличия механического искрения следует применить ЭГ14 или ЭГ8, ЭГ9.

в) Плотность тока 10 *а/см*^{2}; окружная скорость 25 *м/сек*.

Здесь следует применить щетки марки ЭГ8, ЭГ9 или же ЭГ14. В частности, если коллектор подвержен загрязнению, то лучше всего применять щетки марки ЭГ9.

Пример 7. Двигатель постоянного тока 120 *в* прокатного стана; окружная скорость 40 *м/сек*; плотность тока 10 *а/см*^{2}.

Данный случай в отношении подбора щеток является одним из наиболее трудных. Из всех марок щеток, которые вообще возможно рекомендовать, каждая может иметь какие-либо недостатки.

Прежде всего необходимо применить щетки марки ЭГ83. Щетки этой марки не боятся механического искрения и прекрасно осуществляют коммутацию. Однако может случиться, что плотность тока для них окажется слишком высокой. Это вызовет перегрев арматуры или же потребуются механически более прочные щетки. В таком случае придется применить щетки марок ЭГ8, ЭГ14 или ЭГ84, причем в первую очередь щетки марки ЭГ8, так как они превосходят щетки марки ЭГ14 как в отношении качества коммутации, так и в отношении окружной скорости.

Если проблема коммутации будет представлять главную трудность, то лучше применить щетки ЭГ9. Если же основным препятствием явится механическое искрение, то нужны щетки ЭГ8 с возможно меньшей твердостью.

Пример 8. Опытная модель машины постоянного тока напряжением 120 *в*, с окружной скоростью 30 *м/сек* и угловой скоростью 2 500 *об/мин*; плотность тока на щетки около 10 *а/см*^{2}; режим работы длительный; температура коллектора — порядка 60—75° С. По данным расчета пики напряжения на сбегающем крае щетки могли быть порядка 11—12 *в*; измерения краевого напряжения при помощи катодного вольтметра (пиквольтметра) подтвердили расчет.

Марку щеток следует выбирать согласно данным, приведенным в табл. 11 (в последнем столбце). При этом, однако, ряд марок частично или полностью отпадает; так:

а) щетки марок УГ4, Т2 и Т6 полностью отпадают ввиду слишком высокой для них окружной скорости;

б) для щеток марок ЭГ2 и ЭГ2а данная окружная скорость несколько высока; однако (сли требуется особенно низкий износ коллектора и щеток) можно применять эти щетки при условии спокойной работы машины и несколько повышенного удельного нажатия на щетки;

в) для щеток марок ЭГ83 и ЭГ84 плотность тока может оказаться несколько завышенной;

г) из остальных семи марок щеток практически может работать любая; следует указать лишь, что наиболее простыми в изготовлении, а следовательно, и наименее дефицитными являются щетки марки ЭГ14, которые и следует выбрать в качестве первого варианта.

Во всех затруднительных случаях рекомендуется применять опытные марки щеток, разрабатываемые заводами и институтами электроугольной промышленности, куда надлежит обращаться за консультацией по всем вопросам, касающимся применения электрощеток. При этом нужно сообщать сведения об условиях эксплуатации электрощеток согласно опросному листу (см. приложение 9).

5. Щетки иностранных фирм и замена их электрощетками отечественного производства

На ряде предприятий встречаются в эксплуатации машины, снабженные щетками иностранных фирм. После того как щетки износились, их заменяют щетками отечественного производства. Ниже даются сведения, облегчающие подбор марки щетки при осуществлении такой замены.

Прежде всего следует указать, что между марками отечественных щеток и однотипными им марками щеток иностранных фирм не существует полного соответствия, как нет его между щетками любых двух фирм. Каждая марка щеток, отечественная или иностранная, часто имеет свою область применения, как правило, не вполне совпадающую с областью применения других щеток однотипных марок. В качестве примера можно привести такие марки щеток, как ЭГ2 и ЭГ14. Обе марки щеток очень близки между собой как по исходной рецептуре и технологии изготовления, так и в отношении области применения; однако щетки марки ЭГ14 допускают более высокую окружную скорость, чем ЭГ2, а щетки марки ЭГ2 имеют меньший износ, чем ЭГ14. Поэтому совершенно неправильным и ошибочным является требование, нередко предъявляемое потребителями электрощеток, о замене тех или иных щеток иностранных марок, руководствуясь одним лишь названием иностранной марки. При выборе марки щетки нужно исходить прежде всего из данных машины и условий эксплуатации щетки; указание же марки щетки, работавшей на данной машине, а также оценка ее работы входят в число дополнительных сведений, требуемых для правильного выбора марки щетки. Сопоставление щеток иностранных марок с отечественными приведено в табл. 14. В ней приведены марки щеток следующих иностранных фирм:

Сименс-Плания (Германская Демократическая Республика); Рингсдорф (Германия); Шунк-Эбе (Германия); Ле-Карбон (США, Франция, Германия); Морганайт (США, Великобритания); Нейшенел Карбон (США); Дженерал Электрик (США); Стэкпол Карбон (США).

Данный список включает наиболее крупные щеточные фирмы. В список не включено множество мелких фирм, марки щеток которых могут встретиться крайне редко или даже вовсе не встречаются в СССР.

В табл. 14 марки щетки расположены по группам согласно номенклатуре табл. 2. В последнем столбце приведены щетки отечественных марок, которые могут в той или иной степени заменять иностранные. В большинстве случаев указана не одна, а несколько марок щеток, так как нет полного соответствия между однотипными марками щеток различных фирм. Например, щетки марки KIII Сименс-Плания можно, на машинах с окружной от 10 до 20 *м/сек*, заменить щетками отечественной марки ЭГ14. Те же щетки марки KIII на машинах с меньшей окружной скоростью (не более 10 *м/сек*) могут быть при необходимости заменены щетками отечественного изготовления марки Т2.

Таким образом, пользуясь табл. 14, можно лишь ориентировочно наметить одну или несколько щеток отечественных марок взамен иностранных. Окончательный выбор щеток может быть произведен только на основе данных, приведенных в табл. 12 и 13.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОЩЕТОК

1. Установка и подгонка электрощеток

а) Требования к щеткодержателям

При установке щеток следует обратить особое внимание на перемещение щеток в обоймах щеткодержателей. Щетки должны перемещаться в обоймах свободно, но без качания. Внутренняя часть обоймы должна быть чисто обработана, заусенцы и забоины должны быть сняты и поверхность выровнена. Зазор на полный размер щеток в обоих направлениях (по толщине и ширине) должен быть от 0,1 до 0,3 *мм*, и в этих допусках он должен быть строго выдержан. Уменьшение зазора может привести к защемлению щетки, к нарушению ее контакта с коллектором и к искрению; увеличение зазора — к потере щеткой правильного положения, к нарушению контактной поверхности щетки, к разбалтыванию обоймы щеткодержателя.

Расстояние от нижней кромки обоймы щеткодержателя до коллектора должно быть от 2 до 3 *мм*; при меньшем расстоянии возможно задевание обоймы за коллектор и порча его, при большем расстоянии возможно дрожание щеток (так называемые «удары трения»), что может привести к искрению щеток и даже к выкрашиванию их, в особенности щеток твердых угольных марок.

Таблица 14

Сопоставление щеток некоторых иностранных марок со щетками отечественного производства

Название группы	№ группы	Фирма	Иностранные марки	Отечественные марки
Бронзо-графитные (1а) и медно-графитные с высоким (1б) и повышенным (1в) содержанием меди	1а	Сименс—Планиа	M599, M510, M578, M584, M603	МГС, МГ2
	1б	То же	M570, M601	МГС, МГ2
	1в		M594, M594E	МГ4, МГ6
	1а—1б	Рингсдорф	EN10, EN12, EN19	МГС, МГ2
	1в	То же	EN150, EN135, EN1350, EN1500,	МГ4, МГ6
	1а—1б	Шунк-Эбе	A4, A6, B4, B6	МГС, МГ2
	1а	Ле-Карбон	MCO, OMC, MC1	МГС, МГ2
	1а—1б	То же	MC2, MC22, CG75, CG85, CG3485, CG34555, CG3295, P615	МГС, МГ2
	1в	То же	CG4, CG65, CG50	МГ4, МГ6

Примечание. Вместо обозначения МС может встретиться обозначение МК, вместо CG—КК

	1а, 1б	Морганайт	CM, CM0, CM1, CM1S, CM2, CM3H, CM3897, CM6210, CM6472, CM6994, CM7032	МГС, МГ2
	1в	То же	CM5H, CM7969	МГ4, МГ6
	1а, 1б	Нейшенел Карбон	543, EL (NJC), NJ15	МГС, МГ2
	1в	То же	559, 840K, NJ25	МГ4, МГ6
	1б, 1в	Дженерал Электрик	M, N, L, L4	МГС, МГ2, МГ4, МГ6
	1а, 1б	Стэкпол Карбон	S106, S933	МГС, МГ2
	1в	То же	P80, P85, P86, S82	МГ4, МГ6
Медно-графитные с пониженным содержанием меди (1г)	1г	Сименс-Планиа	M604	М1, М6
	1г	То же	M549, G190	М3, М20
	1г	Рингсдорф	EN60, 56	М1, М6

Продолжение табл. 14

Название группы	№ группы	Фирма	Иностранные марки	Отечественные марки
Медно-графитные с пониженным содержанием меди (1г)	1г	Рингсдорф	RW3, RW3N	М3, М20
	1г	Шунк-Эбе	K3	М1, М6
	1г	Ле-Карбон	CG3 (KK3); S3 (LFC3)	М1, М6
	1г	То же	CG2 (KK2)	М3, М20
	1г	Морганайт	CM8121, CM6	М3, М20
	1г	То же	CM9	М3, М20
	1г	Нейшенел Карбон	549, AYK, 555	М3, М20
	1г	Дженерал Электрик	W, X2, X3, X	М3, М20
	1г	Стэкопол Карбон	S83, S86	М3, М20
Твердые угольно-графитные (2б)	2б	Сименс-Планиа	KШ	Т2, Т6, ЭГ14
	2б	То же	NKШ, KG, K135	УГ4, Г1, ЭГ14
	2б	Рингсдорф	WP, 5014, W, 8698	Т2, ЭГ14, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ84
	2б	Шунк-Эбе	G3, G, GA, GM	Т2, Т6, ЭГ14, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ84,
	2б	То же	E5, E3, E4, E2	УГ4, Г1, ЭГ14, ЭГ2а
	2б	Ле-Карбон	A, A2, P, P1, P10, D25H 3300, B60, серия QS, серия SS	Т2, Т6, ЭГ14, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ84
	2б	Нейшенел Карбон	306, 3061, 400, 4001, 401, 402, 405, 441, 442, E, E1, 812, 850, 888, M3, M36	Т2, Т6, ЭГ14, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ84
	2б—3г	Дженерал Электрик	S	Т2, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ84
	2б	Стэкпол Карбон	S1, S10, S11, S20	Т2, Т6, УГ4, Г1, ЭГ14, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ84
Угольно-графитные средней твердости (2а) и графитные (3а)	2а	Сименс-Планиа	GWS, WD3	Г3, ЭГ14
	2а	Рингсдорф	8584, G5	Г3, ЭГ14
	2а	Шунк-Эбе	1090	Г3, ЭГ14
	2а	Морганайт	7126, A0, A, B, B6	УГ2, УГ4, Г1, Г2, Г3, ЭГ14
	3а	То же	B0, B2754, D	Г3, ЭГ14
	3а—3б	То же	1, 2, 5, HM3, HM5, HM7733, HM 619, 808, 8081, 8089, 840	Г3, ЭГ4 (на кольцах), ЭГ14, ЭГ8
	2а—3а—3г	Нейшенел Карбон		Г3, ЭГ2а, ЭГ14, ЭГ9
	2а	То же	9613, HRG	УГ2, УГ4, Г1, Г2, ЭГ14

Продолжение табл. 14

Название группы	№ группы	Фирма	Иностранные марки	Отечественные марки
Угольно-графитные средней твердости (2а) и графитные (3а)	3а	Нейшенел Карбон	623	Г3, М3, М20, ЭГ4
	2а—3а	Дженерал Электрик	В2, Е, С	УГ2, УГ4, Г1, Г2, ЭГ14
	2а	Стэкпол Карбон	М1, М9	УГ2, УГ4, Г1, Г2, ЭГ14
Натурально-графитные (3б), высокоомные (3в) и графитные абразивные (3г)	3б	Сименс-Плания	G189, G274, G323	ЭГ4, ЭГ83, опытные марки щеток
	3б—3в	То же	H7B, H9F	ЭГ83, опытные марки щеток
	3в	То же	G326, G346, G348	ЭГ83, опытные марки щеток
	3б	Рингсдорф	NRC, NRC2, NRC2X, U3Z, RM10	ЭГ4, ЭГ83, опытные марки щеток
	3б	То же	BIC, 2150	ЭГ83, опытные марки щеток
	3б	Шунк-Эбе	LA, L3A, F4, F1, F7, F10	ЭГ4, ЭГ83, опытные марки
	3б—3в	То же	F91, F92	ЭГ83, опытные марки щеток
	3б	Ле-Карбон	S1, S2, S3A, S3B, S3C, S3576 (индекс S соответствует прежнему LFC)	ЭГ4, ЭГ83, опытные марки щеток
	3г	То же	S4 (LFC4)	ЭГ83, опытные марки щеток
	3а—3б	Морганайт	1, 2, 5, HM, HM3, HM5, HM6, HM7733	Г3, ЭГ4, (на кольцах), ЭГ14, ЭГ8
	3в	То же	HM6165, IM2, IM3, IM6782 IM8332, IM7222, IM6	ЭГ83, опытные марки щеток
	3а—3г	Нейшенел Карбон	619	Г3, ЭГ2а, ЭГ14, ЭГ9

Продолжение табл. 14

Название группы	№ группы	Фирма	Иностранные марки	Отечественные марки
Натурально-графитные (3б), высокоомные (3в) и графитные абразивные (3г)	3б	Дженерал Электрик	P, H, H2, H3	Г3, ЭГ4, ЭГ83, опытные марки щеток
	3б—3г	Стэкпол Карбон	М43, М59	Г3, ЭГ83, ЭГ84
Электрографитные (3д); электрографитированные мягкие (4а), средней твердости (4б) и твердые (4в)	4а	Сименс-Плания	Е22	ЭГ4, опытные марки щеток
	4б	То же	Е87, Е98	ЭГ2, ЭГ2а, ЭГ14, ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ83, ЭГ84
	4в	То же	E149, E337, E33714, E335, E151, EKG, E278, E3145, E144Y, E337F, E344A, E344A0	ЭГ14, ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ83, ЭГ84, опытные марки щеток
	4а	Рингсдорф	RU5	ЭГ4, ЭГ83, опытные марки щеток
	4б	То же	8611, 8618A, 8618W, HK6, RP5H, 8620	ЭГ2, ЭГ2а, ЭГ14, ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ83, ЭГ84
	4б—4в	То же	44468, 8601, 8618, 4618, M35, 8579, 8620, RP3, 8618W	ЭГ12, ЭГ13, ЭГ14, ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ83, ЭГ84, опытные марки щеток
	4б—4в	Шунк-Эбе	EL110, E1926, EL1400, EL1657, E2027	ЭГ2, ЭГ2а, ЭГ14, ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ83, ЭГ84
	4а	Ле-Карбон	EG	ЭГ4
	4б	То же	X, EI, G, GS, EGOA, EGS, EGH	ЭГ2, ЭГ2а, ЭГ14
	4в	То же	EGHA, EGH3, EG3417, EG3397, EG3398, EGSP, EG3548, EG3540, R1174	ЭГ2, ЭГ2а, ЭГ12, ЭГ13, ЭГ14, ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ83, ЭГ84

Название группы	№ группы	Фирма	Иностранные марки	Отечественные марки
Электрографитные (3д); электрографитированные мягкие (4а), средней твердости (4б) и твердые (4в)	4а—4б	Морганайт	EG3X, EGB76,	ЭГ4, ЭГ14, ЭГ83
	4б	То же	EG, EG0, EG2, EG4. EG5	ЭГ2, ЭГ2а, ЭГ14, ЭГ8
	4в	То же	EG6345, EG6434, EG3860, EG10, EG10N, EG11, EG12, EG14, EG6749, EG7788, EGB2, EGB3, EGB4	ЭГ12, ЭГ13, ЭГ14, ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ83, ЭГ84, опытные марки
	4а	Нейшенел Карбон	AY	ЭГ4
	4б—4в	То же	255, 258	ЭГ2, ЭГ2а, ЭГ14, ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ83, ЭГ84
	4в	То же	SA25, SA35, SA3585, SA45, TA25, TA35, TA45, 234, 240, 250, 259, 9234R, AX5, BU	ЭГ12, ЭГ13, ЭГ14, ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ83, ЭГ84, опытные марки
	4а	Дженерал Электрик	R	ЭГ4
	4б	То же	D, D2, E2	ЭГ2, ЭГ2а, ЭГ12, ЭГ13, ЭГ14
	4в	То же	G, D3	ЭГ12, ЭГ13, ЭГ14, ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ83, ЭГ84
	4а	Стэкпол Карбон	A41	ЭГ4, ЭГ14
	4б	То же	A21, B10, L10, L30	ЭГ2, ЭГ2а, ЭГ12, ЭГ13, ЭГ14
	4б—4в	То же	A1, A10, A20, L21, L31	ЭГ12, ЭГ13, ЭГ14, ЭГ8, ЭГ9, ЭГ10, ЭГ83, ЭГ84

б) Равномерность нажатия

Величина нажатия пружин щеткодержателя на щетки должна быть, по возможности, одинаковой; особенно это важно при параллельной работе щеток. Чрезмерное нажатие на одну из параллельно работающих щеток или вообще неодинаковое нажатие влечет за собой неравномерное распределение тока между щетками.

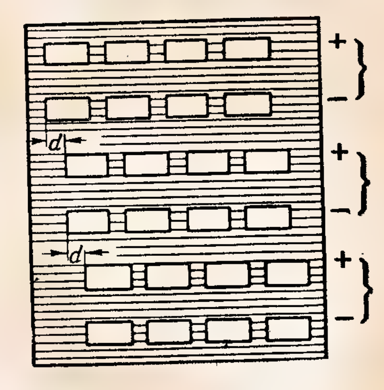
Щетка, более нагруженная током, нагревается сильнее; при этом сопротивление скользящего контакта уменьшается (оксидная пленка на коллекторе, образующая щеточный след, имеет отрицательный температурный коэффициент сопротивления), и она берет на себя еще бо́льшую нагрузку. Это может привести к сгоранию токопровода и появлению сильного искрения под щетками. Кроме того, щетка, работающая с чрезмерным нажатием, изнашивается сама и вызывает повышенный износ коллектора.

в) Применение щеток разных марок

Нельзя на одной и той же машине ставить одновременно щетки разных марок, так как вследствие различного переходного сопротивления между щеткой и коллектором распределение тока между щетками будет неравномерным, что может повлечь за собой перегрузку щеток по току, искрение и выход щеток из строя.

г) Расположение щеток по коллектору

Щетки каждого ряда по конструктивным соображениям не покрывают коллектор по всей длине; а между тем важно, чтобы коллектор более или менее равномерно изнашивался по всей длине. Во избежание неравномерного изнашивания коллектора, образования на нем полос, борозд и канавок необходимо щеткодержатели со щетками укреплять таким образом, чтобы щетки покрывали равномерно всю поверхность коллектора. Поэтому правильным является такое расположение щеток по длине коллектора, при котором щеткодержатели каждой пары пальцев (ряд положительных и ряд отрицательных щеток) работают друг за другом по одному щеточному следу, а щеткодержатели следующей пары пальцев—по другому следу, в шахматном порядке. На фиг. 39, изображающей развернутую поверхность коллектора шестиполюсной машины, указана правильная установка щеток.



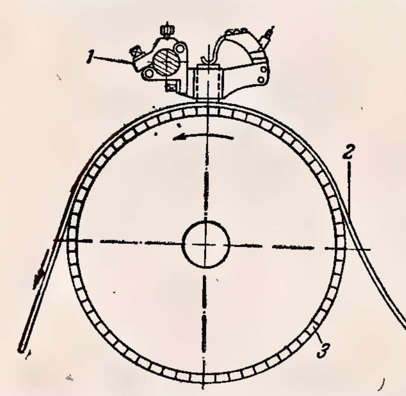
Фиг. 39. Правильная расстановка щеток на коллекторе шестиполюсной машины.

Кроме того, необходимо также строго следить за тем, чтобы расстоянии между рядами щеток по окружности было совершенно одинаковым.

д) Пришлифовка щеток

Пришлифовка щеток производится тонкой стеклянной бумагой. Применять наждачное полотно не рекомендуется вследствие наличия в нем карборунда, который при притирке щеток осаждается на коллекторе, в пазах между пластинами и при работе машины может вызвать повышенный износ коллектора.

Пришлифовка щеток осуществляется после подгонки и установки щеток в щеткодержателе. Для этого щетки следует слегка приподнять и между щетками и коллектором пропустить ленту стеклянной бумаги. Затем щетки опускают на ленту и под нормальным давлением пружин щеткодержателей ленту протягивают под щетками, обычно вращая при этом и коллектор (фиг. 40). Нажим щетки рукой не допускается. Концы ленты нужно держать как можно ближе к коллектору, с тем, чтобы при шлифовке избежать закруглений краев щетки. Подгонку твердых щеток следует начинать с более крупной стеклянной бумаги и заканчивать мелкой.



Фиг. 40. Пришлифовка щеток к коллектору.
1 — щеткодержатель со щеткой; 2 — стеклянная бумага, обращенная к щетке; 3 — коллектор.

Мягкие графитные щетки пришлифовываются только на мелкой бумаге. Стеклянная бумага должна протягиваться только в направлении вращения коллектора.

Протягивание ленты вперед и назад допустимо только для машин с переменным направлением вращения. Для снятия стеклянной бумаги щетки должны быть приподняты. По окончании пришлифовки коллектор, щеткодержатели и щетки следует тщательно продуть и протереть, чтобы снять угольную пыль и зерна стекла. Продувать следует мехами или пользоваться для снятия пыли пылесосом.

Для продувки коллектора и колец можно применять также сжатый воздух давлением не свыше 3 *ат*, убедившись предварительно (пробой на ладонь руки), не попадает ли вместе с воздухом масло или вода из шланга или компрессора.

Опыт показал, что политура на коллекторе, имеющая обычно более темный цвет, чем цвет коллектора, образуется быстрее, если после пришлифовки щеток проработать несколько часов с нагрузкой 20—30% номинальной.

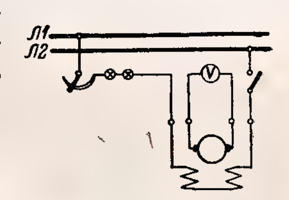
Рабочие поверхности щеток должны принять при этом зеркально-блестящий вид.

В процессе работы необходимо наблюдать за тем, чтобы трущиеся поверхности щеток сохраняли свой зеркально-блестящий вид и были в одинаковой степени хорошо пришлифованы. Пришлифовка щеток к кольцам ведется точно таким же образом.

2. Определение нейтральной зоны для щеток

Правильным положением щеток при работе является такое, когда при замыкании смежных пластин коллектора щеткой напряжение между пластинами в этот момент минимально или равно нулю. Таким положением для машин, имеющих добавочные полюсы, является положение щеток в нейтральной зоне, т. е. под серединой основных или добавочных полюсов, в зависимости от рода обмотки якоря.

У машин, не имеющих дополнительных полюсов, положение щеток, при котором обеспечивается безискровая коммутация, зависит от режима работы машины и величины нагрузки. Так, с увеличением нагрузки при работе в режиме генератора щетки сдвигаются по вращению относительно нейтрального положения, а при работе в режиме двигателя щетки сдвигаются против вращения. Смешение щеток с нейтрального положения в обоих случаях тем больше, чем больше нагрузка. Машина должна работать без искрения и без передвижения щеток при изменении нагрузки от двух третей до номинальной. Смещение щеток с нейтрального положения составляет примерно одну пятую расстояния между двумя смежными основными полюсами и в каждом отдельном случае выбирается по исчезновению искрения при данных условиях работы машины.



Фиг. 41. Схема для нахождения нейтральной зоны в неподвижном состоянии.

У машин, имеющих дополнительные полюсы, щетки должны быть установлены в нейтральной зоне. Определение правильного положения щеток может быть осуществлено как при неподвижной машине, так и при работающей машине.

Для нахождения нейтральной зоны неподвижной машины собирается схема согласно фиг. 41. В цепь возбуждения подается ток, величина которого устанавливается обычно не более 5—10% номинального. Удобнее всего пользоваться аккумуляторной батареей напряжением 4—12 *в*. Обмотка якоря, как видно из схемы, отключена от обмотки возбуждения. Милливольтметр постоянного тока присоединяется к двум смежным щеткодержателям. Присоединять милливольтметр к выводам обмотки якоря не следует, так как при этом будет сказываться влияние э. д. с., которые наводятся в обмотке добавочных полюсов, и в особенности в последовательной обмотке возбуждения, если таковая имеется, что может сильно исказить результаты. Перед определением нейтральной зоны щетки должны быть предварительно тщательно пришлифованы.

Замыкание и размыкание цепи возбуждения сопровождается наведенной в обмотке якоря э. д. с., в результате чего стрелка милливольтметра будет отклоняться: при замыкании — в одну сторону, при размыкании — в другую сторону. Отклонение стрелки прибора будет наблюдаться только в момент замыкания или размыкания цепи обмотки возбуждения, после чего она будет возвращаться на нуль. В качестве указывающего прибора удобнее всего применять нулевой гальванометр с добавочным сопротивлением, которое можно выводить по мере приближения щеток к нейтральной зоне. Передвигая траверзу, находится такое ее положение, при котором стрелка милливольтметра перестанет отклоняться. Иногда не удается найти такого положения щеток, при котором стрелка милливольтметра отклоняться не будет; в этом случае нейтральной зоне будет соответствовать наименьшее отклонение стрелки прибора.

Закрепив траверзу, нужно еще раз произвести проверку ее установки, так как при закреплении стопорного болта траверза может сдвинуться.

На правильность определенной таким способом нейтральной зоны сильно влияет качество притирки и прилегания щеток к коллектору, а также положение якоря. Опыт поэтому следует повторять при двух-трех положениях якоря. В каждом случае траверзу обычно приходится немного перемещать. Окончательно ее устанавливают в среднее положение между найденными в каждом опыте.

Наиболее часто установка щеток в нейтральную зону на оборотах машины производится при работе ее в генераторном режиме на холостом ходу. В этом случае возбуждение машины может осуществляться как от постоянного источника тока, так и при самовозбуждении. Опыт проводится при неизменном числе оборотов и при неизменном возбуждении, по установке траверзы со щетками в такое положение, при котором напряжение на якоре будет максимальным. Этот метод в большинстве случаев дает удовлетворительные результаты.

С достаточной для практических целей точностью определение нейтральной зоны может быть произведено, запуская машину в двигательном режиме. Опыт проводится при определенном напряжении, с небольшой постоянной нагрузкой (или на холостом ходу) и при возможно большем числе оборотов. Обороты, подводимое напряжение и ток возбуждения измеряются. Если машина имеет последовательно-параллельное возбуждение, то обмотка последовательного возбуждения должна быть отключена. Затем пускается машина в другом направлении, соблюдая то же значение приложенного напряжения и тока возбуждения, и снова измеряется скорость. Если скорости оказались неравными, траверзу нужно повернуть в направлении того вращения, при котором получилось меньшее число оборотов в минуту. Затем нужно опыт повторить и добиться такого положения траверзы, при котором для обоих направлений вращения скорость была бы одинакова.

Во все время опыта ток в параллельной обмотке возбуждения должен оставаться неизменным.

При проведении этого опыта следует иметь в виду, что точность определения нейтральной зоны зависит от пришлифовки щеток и от подгонки их в обойме щеткодержателя. Щетки, имеющие большую игру в щеткодержателе, будут иметь неодинаковое положение при вращении коллектора в ту и другую сторону.

3. Чередование полюсов в машинах постоянного тока

Для обеспечения безискровой коммутации чередование главных и дополнительных полюсов машин должно быть правильным.

Обозначая N и S — главные полюсы, а n и s — дополнительные полюсы, необходимо иметь следующее чередование полюсов:

	Генераторы	Электродвигатели
1. Направление вращения якоря	$\longrightarrow$	$\longrightarrow$
2. Чередование полюсов	$N - s - S - n$	$N - n - S - s$

При установке машины необходимо также выверить воздушные зазоры под всеми полюсами, так как расхождение в зазорах может вызвать искрение и значительные уравнительные токи в обмотке якоря.

4. Уход за коллектором и щетками

В процессе эксплуатации машины необходимо наблюдать за тем, чтобы коллектор и щетки были в хорошем состоянии, а именно: коллектор должен быть совершенно круглым по всей своей длине. Максимальная допускаемая эллиптичность («бой») коллектора, измеренная индикатором, не должна превышать 0,02 *мм*.

Если бой будет больше допустимого, то коллектор необходимо проточить. При проточке коллектора рекомендуется придерживаться следующих условий.

Окружная скорость должна быть порядка 27—40 *м/мин* (0,45—0,7 *м/сек*), толщина стружки не выше 0,1 *мм*, подача 0,1—0,05 *мм*. Направление вращения коллектора при обточке и при последующей шлифовке должно быть одинаковым с направлением его вращения при работе машины.

После проточки коллектора производится его шлифовка. Шлифовка коллектора может быть произведена или при помощи карборундовых камней марок СТ-2 и СТ-3, укрепленных неподвижно на суппорте, при окружной скорости коллектора до 25 *м/сек*, или при помощи вращающегося мелкозернистого карборундового круга диаметром 150—300 *мм*. Этот круг должен быть предварительно испытан в соответствии с паспортными данными.

Полировка коллектора производится при его номинальных оборотах мелкой стеклянной бумагой № 00, наложенной на деревянный брусок, пригнанный по поверхности коллектора. Применять для целей полировки карборундовые камни или карборундовую бумагу нельзя, так как частицы карборунда, оставшиеся после полировки в пазах между пластинами, будут изнашивать или царапать коллектор и щетки. После проточки коллектора следует продорожить миканит между пластинами. Продороживание изоляции между пластинами коллектора производится фрезой с электроприводом либо специальной пилой без развода. Глубина продороживания 1—1,5 *мм*.

При постепенном изнашивании щеток необходимо предусмотреть, чтобы не было чрезмерного ослабления нажатия щеток, так как при этом щетки начнут подпрыгивать на коллекторе и искрить.

Не следует допускать чрезмерного изнашивания щеток по высоте, так как щетки, имея слишком малый размер, могут занимать при работе неправильное положение в обойме щеткодержателя (перекос). Кроме того, щетки могут заклиниваться, нарушая предусмотренное токораспределение между ними.

Щетки с омедненной поверхностью подлежат замене уже тогда, когда от основания щетки до ее омедненной части остается не более 3 *мм*.

При применении мягких сортов щеток следует подвергать коллектор периодической чистке, так как во впадинах между пластинами и в петушках собираются угольная пыль и грязь, вследствие чего может иметь место замыкание между соседними пластинами. Для чистки коллектора лучше всего пользоваться пемзой, применение которой совершенно безопасно. Пользоваться для этой цели карборундом недопустимо. Следует избегать пользоваться и таким полировочным материалом, как наждак или стеклянная бумага, зерна которых, раздробляясь под трущейся поверхностью щеток, оставляют на коллекторе полосы и царапины.

Щетки в своем составе содержат определенное количество смазки в виде графита, поэтому применение различных масел для смазки коллектора совершенно недопустимо, так как коллектор легко загрязняется, образуя между собой и щеткой жирную пленку, плохо проводящую ток и вызывающую сильные вибрации щеток.

5. Оценка степени искрения

Согласно ГОСТ 183-41 на электрические машины устанавливается следующая шкала степеней искрения.

Степень 1 — нет искрения.

Степень $1^1/_4$ — слабое точечное искрение под небольшой частью щетки, приблизительно у четверти числа всех щеток.

Степень $1^1/_2$ — слабое искрение приблизительно у половины числа всех щеток, причем после номинального рабочего режима коллектор не должен иметь следов подгара, которые не могут быть удалены тряпкой, смоченной в бензине.

Степень 2 — искрение под большей частью щетки у большинства или у всех щеток.

Степень 2 соответствует таким условиям работы, когда при длительной работе на коллекторе остаются следы почернения, а на щетках — следы подгара. Эта степень искрения допускается при кратковременных перегрузках, толчках и реверсах (с реостатами или пусковыми ступенями).

Степень 3 соответствует таким условиям работы, когда при длительной и равномерной нагрузке возникают почернение коллекторных пластин, а также подгар и разрушение щеток. Это соответствует опасному искрению. Схематически все степени искрения представлены на фиг. 42.

Фиг. 42. Оценка искрения на коллекторе.

6. Неисправности работы щеток

а) Искрение под щетками и его устранение

Как указывалось ранее, искрение щеток может иметь место вследствие электрических или механических причин. Для устранения искрения необходимо знать его причину. Во многих случаях характер искрения можно установить по внешнему виду искр и поведению искрения при изменении нагрузки.

Прежде всего при коммутационном искрении (не слишком интенсивном) цвет искр обычно бывает синим и искры располагаются под щетками. При уменьшении нагрузки коммутационное искрение ослабевает или пропадает совсем. При увеличении нажатия на щетку коммутационное искрение усиливается. При увеличении окружной скорости коммутационное искрение изменяется мало.

Причинами коммутационного искрения являются как неправильно выбранная марка щеток, так и дефекты в электрической и магнитной цепях машины, а также дефекты токособирательного устройства, которые в основном способствуют коммутационному искрению.

При механическом искрении искры чаще всего желтые и длинные. При уменьшении нагрузки искрение не пропадает вплоть до самых малых значений тока. При увеличении нажатия механическое искрение ослабевает или вовсе пропадает. При увеличении окружной скорости оно резко возрастает.

Определение причин искрения, особенно определение пригодности той или иной марки щеток, следует производить только после тщательной установки и подгонки щеток, выверки воздуш-

ных зазоров между полюсами и якорем, определения эллиптичности коллектора и устранения всех причин, могущих вызвать механическое искрение. Если после устранения всех внешних причин искрение не прекращается, то ослабление его до минимума можно осуществить путем подбора соответствующей марки щеток.

Правильно подобранная марка щеток при соблюдении основных правил эксплуатации щеток, как правило, обеспечивает безыскровую коммутацию или коммутацию с незначительным, точечным искрением. Но при появлении дефектов в магнитной и электрической цепях или в токособирательном устройстве машина начинает искрить. Ниже описаны главнейшие причины искрения, их признаки и способы устранения.

Начиная с некоторой величины нагрузки, машина искрит, причем искрение увеличивается по мере возрастания нагрузки. Искрение более или менее равномерно распределено под всеми щетками.

Возможные причины:

1. Неправильное положение всего щеточного аппарата на коллекторе. Щетки смещены из нейтральной зоны.

2. Неправильная регулировка поля добавочных полюсов. Необходимо путем положительной и отрицательной подпитки добавочных полюсов определить зону безискровой коммутации и в соответствии с этим отрегулировать поле добавочных полюсов, усиливая или ослабляя его [Л. 28, 27, 22].

Если дополнительные полюсы действуют слишком сильно, то для устранения искрения требуется перемещение щеток с нейтрального положения у генератора — в сторону, обратную вращению, а у двигателя — по направлению вращения; если же дополнительные полюсы слабы, то необходимо передвинуть щетки: у генератора — по направлению вращения, у двигателя — против направления вращения. Дополнительные полюсы можно регулировать и следующим образом: если они слабы, то следует уменьшить воздушный зазор; если же они сильны, то необходимо увеличить воздушный зазор.

Регулирование зазора производится посредством болтов, крепящих добавочные полюсы, и прокладок; для уменьшения зазора между каждым полюсом и ярмом добавляется необходимое количество стальных прокладок соответствующих размеров и формы, а для увеличения зазора стальные прокладки вынимаются или заменяются латунными.

Прокладки для уменьшения воздушного зазора должны выполняться из мягкой стали. Размер прокладок должен соответствовать размеру добавочных полюсов по сечению. К полюсу и ярму лист должен прилегать без зазора. Не допускается регулировка зазора отдельными прокладками, размеры которых значительно меньше размеров полюсов по сечению.

Искрение неравномерно распределено под щетками, установленными на разных щеточных пальцах. Щетки под одним полюсом искрят сильнее, чем щетки под другими полюсами.

Возможные причины:

1. Неправильное расположение щеток между собой, а именно: неравномерное расстояние между щетками по окружности коллектора (необходимо тщательно измерить бумажной лентой).

2. Слишком просторны обоймы в щеткодержателях, благодаря чему щетка имеет возможность перемещаться.

3. Ось щеток расположена не параллельно оси коллектора.

4. Одновременно коммутируется большее, чем нужно, число якорных секций.

5. Плохая притирка щеток.

6. Неправильные соединения полюсов, а именно: неправильное включение основного полюса вызывает искрение щеток, расположенных под противоположным полюсом у четырехполюсной машины и под полюсами, расположенными через один от неверно включенного, при числе полюсов больше 4. Правильность соединения полюсов можно проверить посредством магнитной стрелки или дать возбуждение неподвижной машине и провертывать якорь. В случае неправильного соединения полюсов якорь провертывается с трудом, так как он прилипает к одной стороне. Неправильное включение добавочного полюса вызывает искрение двух рядов щеток, расположенных по обе стороны от него.

7. Междувитковое или короткое замыкание в отдельных дополнительных или главных полюсах. Необходимо измерить напряжение на катушках главных и дополнительных полюсов.

На катушках, имеющих междувитковое соединение, напряжение будет значительно меньше, чем на исправных катушках, а при полном коротком замыкании катушки напряжение будет равно нулю. Исправные катушки нагреваются сильнее неисправных.

Искрение имеет непостоянный характер: ослабевает и усиливается, перебегая со щетки на щетку, по временам совсем исчезает.

Возможные причины:

1. Плохой контакт в цепи токоснимающего аппарата: между щеткой и коллектором, между щеткой и токоведущим кабелем, между кабелем и наконечником, между зажимом и пальцем, между пальцем и соединительными шинами.

Место плохого контакта нагревается. В этом случае искрят те щетки, у которых перечисленные выше контакты находятся в исправном состоянии (потому что эти щетки перегружены).

2. Плохая притирка щеток. Плохо притертые щетки не искрят и холоднее других, хорошо притертых. Необходимо осмотреть контактные поверхности щеток и произвести повторную притирку.

3. На коллекторе работают щетки разных марок. Комплект щеток на машине должен быть одной марки.

Искрение неравномерно распределяется под щетками разных пальцев, при этом коллектор обгорает неравномерно.

Возможные причины:

1. Неудовлетворительное состояние контактной поверхности коллектора, а именно: между коллекторными пластинами выступает изоляция (слюда); на поверхности коллектора имеются забоины, царапины; некоторые пластины вдавлены или выступают над поверхностью коллектора в результате ослабления затяжки коллектора; коллектор бьет в результате срабатывания вкладышей или эксцентричности его обточки.

2. Замыкание между отдельными пластинами коллектора в результате попадания между ними олова или заусенцев после обточки. Для исправления необходимо продорожить коллектор, т. е. выбрать между пластинами слюду на глубину 1—1,5 *мм* и отшлифовать коллектор пемзовым камнем.

Коллектор сильно искрит. Щетки сильно обгорают. На коллекторе по щеточным следам образуются параллельные борозды.

Возможные причины:

Неудовлетворительное состояние контактных поверхностей щеток, а именно:

1) загрязнение коллектора и щеток вследствие чрезмерного смазывания (например, парафином) или применения слишком мягких сортов щеток;

2) поверхность коллектора окисляется вследствие присутствия в атмосфере, окружающей машину, паров кислот и газов;

3) загрязнение коллектора вследствие сильного износа щеток;

4) недостаточно тщательный уход за машиной.

Искрение неравномерно распределено под щетками, установленными на различных пальцах, причем происходит почернение лишь некоторых коллекторных пластин, расположенных на определенном расстоянии друг от друга (соответственно числу полюсов или пар полюсов); после каждой чистки или обточки коллектора чернеют одни и те же пластины.

Возможные причины:

1. Плохой контакт в якоре, большей частью в соединениях между обмоткой и коллектором (петушках) вследствие плохой пайки.

2. Короткое замыкание в якоре.

3. Отпайка уравнительных соединений.

4. Отсутствие уравнительных соединений.

5. Недостаточное количество уравнительных соединений.

Так как наружным осмотром не всегда удается обнаружить плохие пайки в петушках, то следует произвести испытание пайки между пластинами методом амперметра — вольтметра, после чего все дефектные пайки пропаять. Чернеющие пластины коллектора отметить на лобовой части кернером для облегчения дальнейшего контроля. Коллектор обточить или отшлифовать. Изоляцию между пластинами продорожить на глубину 1—1,5 *мм*.

Наблюдается блуждающее почернение пластин коллектора, т. е. после каждой чистки коллектора чернеют другие пластины.

Возможные причины:

1. Незначительное выступание изоляции между отдельными пластинами коллектора (если изоляция выступает в сильной степени и между всеми пластинами, то происходит почернение всего коллектора и коллектор сильно нагревается).

2. Вследствие ослабления затяжки коллектора некоторые пластины вдавлены или выступают над поверхностью коллектора. Необходимо подтянуть коллектор и обточить его.

3. Вследствие ослабления затяжки коллектора коллектор перекошен. В этом случае необходимо перебрать коллектор, затянуть вновь и проточить.

4. Коллектор бьет вследствие неправильной (эксцентричной) обточки.

5. Вкладыши подшипников разработаны или монтаж машины произведен плохо. Неравномерное оседание фундамента у машин, подшипниковые стойки которых установлены не на общей фундаментной плите. При большой неравномерности зазора между якорем и отдельными полюсами происходит искажение магнитного поля, вследствие чего в якоре возникают внутренние уравнительные токи, которые служат причиной сильного нагревания якоря и искрения щеток. Для устранения этого дефекта необходимо перезалить вкладыши или заменить их новыми. Необходимо также отрегулировать зазор между якорем и полюсами при помощи прокладок, подкладываемых под подшипниковые стойки или под станину. При правильной установке машины зазор между якорем и нижними полюсами необходимо иметь на 5—10% больше, чем между якорем и верхними полюсами.

6. Неправильное положение щеток на коллекторе. Необходимо проверить расстояние между щетками отдельных стержней при помощи бумажной ленты, наложенной на коллектор, и установить щетки отдельных стержней на одинаковом расстоянии друг от друга по окружности коллектора. Нельзя устанавливать щетки по числу коллекторных пластин, так как толщина отдельных пластин и изоляции между ними неодинаковы.

7. Плохой контакт в токособирательных шинах, загрязнение или окисление контактных поверхностей в местах соединения пальцев щеткодержателей и токособирательных шин между щеткодержателями и пальцами, а также между щетками и щеткодержателями. Вследствие плохого контакта происходит неравномерное распределение тока между отдельными пальцами, особенно у машин на большую силу тока. Щетки некоторых пальцев при этом сильно искрят.

Щетки вибрируют и издают шум. Имеются следы обгорания на коллекторе. Наблюдается почернение коллектора во всей или большей части его окружности. Поверхность коллектора волнообразная. Коллектор и щетки имеют повышенный нагрев.

Возможные причины:

1. Неисправности щеткодержателя: недостаточно жесткий щеткодержатель; слишком велико расстояние от нижней кромки

обоймы щеткодержателя до коллектора (это расстояние должно быть 2—3 *мм*); щеткодержатели, сидящие на круглых пальцах, закреплены недостаточно жестко и при работе под действием силы трения щеток о коллектор проворачиваются на пальцах, при этом щетки перестают прилегать к коллектору всей поверхностью (особенно часто это наблюдается у быстроходных машин); неравномерный нажим пружин на щетки (следует проверить нажим на щетки при помощи динамометра и установить его одинаковым на все щетки).

2. Неисправности щеток: щетки имеют неровную контактную поверхность; царапины, набитые медной пылью, обломанные или обгорелые края и т. д.

3. Неровный или бьющий коллектор. Деформация коллектора от действия центробежных сил; выступание изоляции между пластинами. Эти дефекты часто встречаются у быстроходных машин.

Круговой огонь по коллектору

Возможные причины:

1. Марка щеток не подходит к данной машине вследствие своей склонности к повышенному износу (в большинстве случаев это медно-графитные или графитные щетки). Медно-графитная пыль забивает канавки между пластинами, образуя проводящие мостики, накаливающиеся под действием напряжения между соседними пластинами. При коротких замыканиях от мягких графитных щеток отрываются небольшие раскаленные угольные частицы, способствующие образованию кругового огня.

2. Неправильное положение щеток.

3. Неправильное чередование главных и дополнительных полюсов (дополнительные полюсы неправильно соединены с якорем).

4. Коллектор загрязнен токопроводящей пылью, находящейся в рабочем помещении. Необходимо коллектор протереть тряпкой, слегка смоченной в спирте. При этом также необходимо протереть и щетки, иначе слой грязи, имеющейся на них, снова загрязнит коллектор.

5. Дефектная пайка петушков; замыкание обмотки на бандаж.

б) Повышенный износ щеток и коллектора

При работе щеток износ их обусловлен двумя причинами: чисто механическим истиранием о коллектор и электрическим износом, т. е. распылением частиц материала щетки под воздействием протекающего через щетки тока. Что касается чисто механического истирания щеток о коллектор, то оно зависит только от двух факторов: силы нажатия пружины и окружной скорости. При этом, конечно, имеется в виду, что коллектор нормально отбалансирован, не имеет выступающей слюды и других дефектов, влияющих на износ щеток.

У твердых угольно-графитных и электрографитированных щеток износ при повышении окружной скорости и увеличении нажатия на щетки растет незначительно.

У мягких графитных и электрографитированных щеток, а также у металло-графитных щеток с низким содержанием металла износ с повышением окружной скорости и увеличением нажатия заметно возрастает.

У металло-графитных щеток с высоким содержанием металла (65—90%) износ с повышением окружной скорости сильно возрастает, что и ограничивает их применение для высоких окружных скоростей.

Электрический износ щеток зависит от плотности тока; при повышении плотности тока возрастает износ щетки. В особенности он возрастает у щеток с высоким содержанием металла.

Причины сильного изнашивания щеток и коллектора следующие:

1. Искрение под щетками (сокращается срок службы щеток в несколько раз). Материал щеток сгорает и распыляется в электрической дуге.

2. Марка щеток не соответствует рабочей плотности тока на машине. Щетки перегружены током.

3. Нажатие пружины щеткодержателей на отдельные щетки неодинаково, вследствие чего нагрузка между ними распределяется неравномерно (отдельные щетки сильно перегружены).

4. На коллекторе стоят щетки различных марок. Вследствие различной проводимости их нагрузка распределяется неравномерно, что приводит к быстрому износу чрезмерно перегруженных щеток.

5. При изготовлении щеток были допущены отклонения от установленной технологии, вследствие чего щетки получились не в соответствии с техническими условиями. Для проверки этого следует испытать щетки согласно указаниям гл. 3.

6. Повышенное биение коллектора как общее, так и местное (проверяется индикатором).

Как указывалось в гл. 3, наличие в щетках карборунда или других абразивных частиц вызывает повышенный износ коллектора, а ослабление структуры щетки вследствие недостаточной плотности вызывает износ щетки и т. д.

в) Повышенный нагрев щеток и их арматуры

Причины сильного нагревания щеток и их арматуры следующие:

1. Искрение под щетками, влекущее за собой также и нагревание щеток выше нормального. Необходимо отыскать причину искрения и добиться безискровой работы машины.

2. Недостаточная поверхность соприкосновения щетки с коллектором вследствие наличия обломанных или выщербленных

краев, или неполного прилегания к коллектору, что приводит к увеличению плотности тока и к перегрузке щеток.

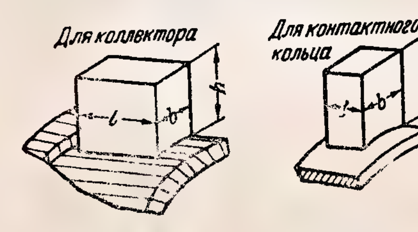
3. Слишком большое нажатие на щетки, что приводит к сильному повышению механических потерь в щетках.

4. Завышенное значение переходного сопротивления между телом щетки и ее арматурой. Благодаря значительному выделению тепла происходит сильное нагревание, накаливание и даже перегорание токопроводов. При установке на машину желательно подбирать щетки с более или менее одинаковым переходным сопротивлением.

5. Установка несоответствующей марки щеток, предназначенных для работы при более низких плотностях тока.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. НОМИНАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ ЩЕТОК



Длина l — размер по направлению оси коллектора или контактного кольца
Ширина b — размер по направлению вращения коллектора или контактного кольца
Высота h — размер по направлению радиуса коллектора или контактного кольца

b, мм	l, мм	b×l, мм²	h, мм: 12	15	20	25	32	35	40	50	60	70
4	4	16	12	15	—	—	—	—	—	—	—	—
	5	20	12	15	—	—	—	—	—	—	—	—
5	5	25	12	15	20	—	—	—	—	—	—	—
	6,5	32,5	12	15	—	—	—	—	—	—	—	—
	8	40	12	15	20	—	—	—	—	—	—	—
	12	60	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	20	100	—	—	20	—	32	—	—	—	—	—
6,5	6,5	42,25	—	15	20	—	—	—	—	—	—	—
	8	52	12	15	20	25	—	35	—	—	—	—
	10	65	—	—	20	25	—	—	—	—	—	—
	12,5	81,25	—	—	20	25	—	—	—	—	—	—
	15	97,5	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—
7	12,5	87,5	—	15	—	—	—	—	—	—	—	—
	14	98	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	8	64	—	—	20	—	32	—	—	—	—	—
	10	80	—	15	20	25	—	35	—	—	—	—
	12,5	100	—	—	20	25	32	—	—	50	—	—
	15	120	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—
	16	128	—	—	—	25	32	35	—	—	—	—
	20	160	—	—	20	25	—	35	40	—	—	—
	25	200	—	—	20	25	—	35	—	50	—	—

Продолжение

b	l	b×l, мм²	h, мм									
мм			12	15	20	25	32	35	40	50	60	70
9,2	20	184	—	—	—	25	—	—	—	—	—	—
10	10	100	—	15	20	25	—	35	40	—	—	—
	12,5	125	—	—	20	25	32	—	40	—	—	—
	16	160	—	15	20	25	32	—	—	50	—	—
	18	180	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—
	20	200	—	—	20	25	32	35	40	50	—	—
	25	250	—	—	—	25	32	35	—	50	—	—
	32	320	—	—	—	25	32	—	—	50	—	—
	40	400	—	—	—	—	—	—	—	50	—	—
	60	600	—	—	—	—	—	—	—	—	60	—
12	32	384	—	—	—	25	—	—	—	—	—	—
12,5	12,5	156,25	—	—	—	—	32	—	—	—	—	—
	16	200	—	—	—	25	—	—	—	—	—	—
	20	250	—	—	—	25	32	35	40	—	—	—
	25	312,5	—	—	—	—	—	35	40	50	—	—
	30	375	—	—	—	—	—	35	—	—	—	—
	32	400	—	—	—	25	32	—	40	50	60	—
	40	500	—	—	—	—	—	—	—	—	60	—
	50	625	—	—	—	—	—	—	—	—	60	—
16	16	256	—	—	20	—	32	—	—	50	—	—
	20	320	—	—	—	25	—	—	—	50	—	—
	25	400	—	—	—	25	32	35	40	50	—	—
	30	480	—	—	—	—	—	35	—	—	—	—
	32	512	—	—	—	25	32	—	40	50	60	70
	40	640	—	—	—	—	—	—	40	50	60	—
	50	800	—	—	—	—	—	—	—	50	60	70
	60	960	—	—	—	—	—	—	—	50	60	70
20	20	400	—	—	—	—	32	—	—	50	—	—
	25	500	—	—	—	—	32	—	40	—	60	—
	30	600	—	—	—	—	—	35	—	—	—	—
	32	640	—	—	—	—	32	—	—	50	60	70
	40	1 000	—	—	—	—	—	—	—	50	60	—
	60	1 200	—	—	—	—	—	—	—	50	—	70
22	30	660	—	—	—	—	—	35	—	—	60	—
25	25	625	—	—	—	—	32	—	—	50	60	—
	30	750	—	—	—	—	—	35	—	—	—	—
	32	800	—	—	—	—	32	—	—	50	60	70
	40	1 000	—	—	—	—	—	—	40	—	60	—
	50	1 250	—	—	—	—	—	—	—	—	60	70
30	30	900	—	—	—	—	—	35	—	—	—	—
32	32	1 024	—	—	—	25	32	—	—	—	60	—
	40	1 280	—	—	—	—	—	—	—	—	60	—
35	35	1 225	—	—	—	—	—	—	—	50	—	—

Примечание. Отклонения от номинальных размеров щеток по ширине *b* и длине *l* см. табл. 8.

2. ФАСОНЫ ЭЛЕКТРОЩЕТОК И ТИПЫ АРМАТУРЫ

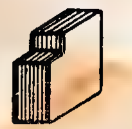
Обозначение фасонов									
старое	новое	старое	новое	старое	новое	старое	новое	старое	новое
П	П	Ф1	Ф1	Ф2	Ф2	Ф3	Ф3	Ф4	Ф4

Типы арматуры				
А1; А2; А3; А4; А5; А6; А7; А11; А14; А15	А1; А2; А3; А4; А5; А6; А11; А14; А15	А1; А2; А3; А4; А5; А6; А11; А14; А15	А1; А5	А21

Обозначение фасонов									
старое	новое	старое	новое	старое	новое	старое	новое	старое	новое
Ф8	Ф5	Ф10	Ф6	Ф13	Ф7	Ф11	Ф8	Ф9	Ф9

Типы арматуры				
А1; А2; А5	А12	б/А	А11	А1; А2; А4; А12

Обозначение фасонов									
старое	новое	старое	новое	старое	новое	старое	новое	старое	новое
Ф5 и Ф6	Ф10	Ф12	Ф11	Ф19	Ф12	—	Ф13	—	Ф14


Типы арматуры				
А22	А1	А1	А2; А4	А2

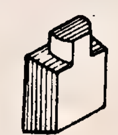
Продолжение

Обозначение фасонов									
старое	новое	старое	новое	старое	новое	старое	новое	старое	новое
Ф14 и Ф15	Ф15	Ф16	Ф16	Ф17	Ф17	Ф18	Ф18	—	Ф19



Типы арматуры				
А2; А3; А4; А5; А6	А20	А20	А18	А8; А9; А10; А13; А16; А17; А19

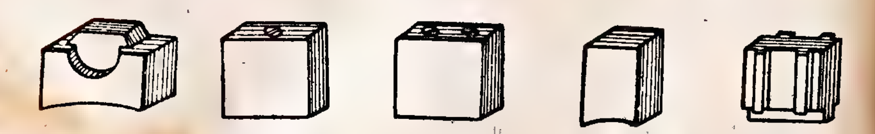
Обозначение фасонов									
старое	новое	старое	новое	старое	новое	старое	новое	старое	новое
Ф20	Ф20	—	Ф21	—	Ф22	—	Ф23	—	Ф24




Типы арматуры				
А20	А1	б/А	б/А	Ф24А

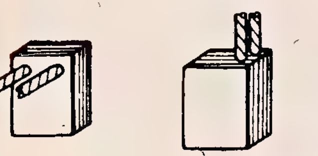
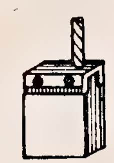
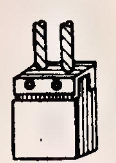
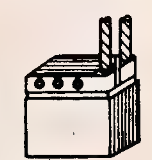
Обозначение фасонов									
старое	новое	старое	новое	старое	новое	старое	новое	старое	новое
—	Ф27	Сверлить 1 отверстие	Ф45	Сверлить 2 отверстия	Ф46	Радиус	Ф47	—	Ф48



Типы арматуры				
б/А	б/А	б/А	б/А	А3

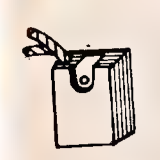
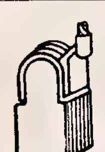
3. ТИПЫ АРМАТУРЫ И СПОСОБ КРЕПЛЕНИЯ ТОКОВЕДУЩЕГО ПРОВОДА К ТЕЛУ ЩЕТКИ

Типы арматуры				
А1	А2	А3	А4	А5

Способ крепления токоведущего провода к телу щеток				
р; п; к	р; п; к	р; к	р; п	р; п

Типы арматуры				
А6	А7	А8	А9	А10

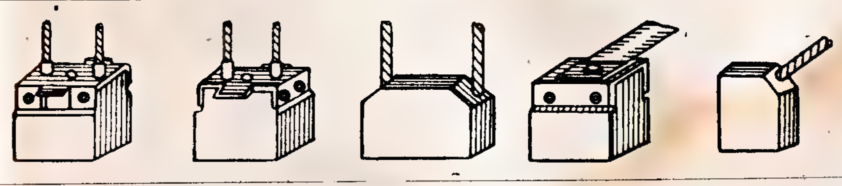



Способ крепления токоведущего провода к телу щетки				
р; п	р; к	к; о	к; о	о

Типы арматуры				
А11	А12	А13	А14	А15

Способ крепления токоведущего провода к телу щеток				
р; о	о	о	р; о	р; о

Типы арматуры				
А16	А17	А18	А19	А20



Способ крепления токоведущего провода к телу щеток				
о; к	о; к	р; к; з	о	р; к

Типы арматуры

А21	А22	А23	



Способ крепления токоведущего провода к телу щеток			
о	—	—	

Примечание. Обозначения способов крепления токоподвода к телу щетки: к—конопатка; о — через обойму; п — пайка; р — развальцовка.

4. ПРОВОДА МЕДНЫЕ ТОКОВЕДУЩИЕ ДЛЯ ЩЕТОК И ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ К НИМ

Классификация

ПЩ — провода голые
ПЩС — провода специальные голые
ПЩО — провода в оплетке из хлопчатобумажной пряжи
ПЩСО — провода специальные в оплетке из хлопчатобумажной пряжи

Сортамент провода ПЩ и ПЩО

№ п/п.	Номинальное сечение, *мм²*	Система скрутки, число жил в проводе и диаметр жилы	Максимальный наружный диаметр, *мм*		Расчетный вес, *г/м*		Расчетный наружный диаметр, *мм* ПЩ	Примечание
			ПЩ	ПЩО	ПЩ	ПЩО		
1	0;3	7×22×0,05	1,0	1,8	3	3,9	0,9	ВТУЭ-242-44
2	0,5	12×22×0,05	1,4	2,2	5	6,4	1,1	
3	0,75	7×20×0,08	1,5	2,3	7	8,4	1,3	
4	1	7×30×0,08	1,7	2,5	10	11,9	1,6	
5	1,5	7×42×0,08	2,3	3,1	14	15,4	1,8	
6	2,5	12×42×0,10	2,6	3,4	24	25,8	2,6	
7	4	7×42×0,13	4,0	4,8	37	39,2	3,1	
8	6	7×62×0,13	5,4	6,2	58	61,2	4,0	
9	10	12×62×0,13	6,7	7,5	101	106,2	5,5	

Сортамент проводов ПЩС и ПЩСО

			ПЩС	ПШСО	ПЩС	ПЩСО	ПЩС	
10	1	7×5×15×0,05	2,1	2,9	10	11,9	1,6	ВТУЭ-242-44
11	1,5	7×7×15×0,05	2,3	3,1	15	15,4	1,8	
12	2,5	12×7×15×0,05	3,2	4,0	25	25,8	2,6	

Сортамент провода — медная гибкая плетенка

№ п/п.	Номинальное сечение, *мм²*	Система плетения, число жил и диаметр жилы	Размеры, *мм*		Расчетный вес, *г/м*	Примечание
			толщина	ширина		
1	4,2	24×35×0,08	$1,1^{\pm 0,2}$	$8^{\pm 1}$	43,2	ВТУ МЭП 281-47

Бусы фарфоровые (сортамент)

№ п/п.	Эскиз бус	Для провода				Размеры бус, *мм*			Вес 1 000 шт., *г*
		Сечение, *мм²*	Количество проводов	Сечение, *мм²*	Количество проводов	*D*	*d*	*H*	
1	$D+0,5$; $d\pm 0,1$; $H+0,5$; $r=0,5$	0,5—0,75	1	—	—	4	1,5	5	129,7
2		1—1,5	1	0,3—0,5	2	5	2,5	5	184,0
3		2,5	1	0,75	2	6	3,5	6	276,8
4		4—6	1	1—1,5	2	8	5	8	612,5
5		10	1	2,5	2	8	6	8	439,8

Примечание. Бусы обозначаются дробным числом, значение внешнего диаметра ставится в числителе, а внутреннего диаметра — в знаменателе.

Сортамент

Чулок хлопчатобумажный ВТУ-1207-44

№ п/п.	Внутренний диаметр чулка, *мм*	Расчетный вес, *г/м*	Для провода сечением, *мм²*
1	1,5	0,92	0,3
2	2,0	1,42	0,5—0,75
3	2,5	1,24	1,0
4	3,0	1,24	1,5
5	3,5	2,20	2,5
6	4,0	2,20	2,5
7	5,0	3,24	4
8	6,0	3,24	6
9	8,0	5,16	10

Примечание. Хлопчатобумажный чулок обозначается по его внутренему диаметру.

Манжетки для крепления чулка
(материал: красная медь мягкая МЗ ГОСТ 1173-41)

№ п/п.	Эскиз манжетки	Обозначение манжетки	Для провода сечением, $мм^2$	Размеры манжетки, мм			Вес манжетки, г
				B	R	H	
1		М1-3,2	0,3; 0,5	3,2	1,1	3,4	0,09
2		М1-4	0,75; 1; 1,5	4	1,5	4	0,11
3		М1-5	2,5	5	2	5	0,13

Сортамент
Трубки электроизоляционные линоксиновые ВТУ МСП 5503

№ п/п.	Внутренний диаметр трубки, мм	Толщина стенки, мм	Расчетный вес, г/мм	Для провода сечением, $мм^2$
1	1,5	0,6	4,40	0,3
2	2	0,7	6,52	0,5—0,75
3	2,5	0,7	7,70	1
4	3	0,7	8,14	1,5
5	3,5	0,7	10,20	2,5
6	4	0,9	15,23	2,5
7	4,5	0,9	16,80	—
8	5	0,9	18,32	4
9	6	0,9	21,46	6
10	7	0,9	24,56	—
11	8	0,9	27,67	10

Примечание. Линоксиновые трубки обозначаются по их внутреннему диаметру.

5. КОНСТРУКЦИИ И РАЗМЕРЫ НАКОНЕЧНИКОВ ТОКОВЕДУЩЕГО ПРОВОДА

Тип	Эскиз	Обозначение	Для провода				Размеры, мм						Вес, г
			Сечение, $мм^2$	Количество проводов	Сечение, $мм^2$	Количество проводов	А	Б	В	Г	Д	Е	
НI	Лудить; Д; Б; А; Г; В; Е	Н1-4,5	1	1	0,3	2	4,5	10	20	4,5	3	0,8	0,83
			1,5	1	0,5	2						0,8	0,86
			2,5	1	0,75	2						0,8	0,98
			4	1	1	2						1,0	1,39
		Н1-5,5	1,5	1	0,5	2	5,5	12	23	5,5	3	0,8	1,05
			2,5	1	0,75	2						0,8	1,14
			4	1	1	2						1	1,63
			6	1	1,5	2						1	1,79
		Н1-7	2,5	1	0,75	2	7	14	24	6	3	0,8	1,38
			4	1	1	2						1	1,75
			6	1	1,5	2						1	1,89
			10	1	2,5	2						1	2,24
		Н1-9	2,5	1	0,75	2	9	18	28	7,5	3	0,8	1,72
			4	1	1	2						1	2,37

Продолжение

Тип	Эскиз	Обозначение	Для провода				Размеры, *мм*						Вес, *г*
			Сечение, *мм*²	Количество проводов	Сечение, *мм*²	Количество проводов	*А*	*Б*	*В*	*Г*	*Д*	*Е*	
Н2		Н2-2,8	0,3 0,5 0,75	1 1 1	— — —	— — —	2,8	6	12	3	2	0,3 0,3 0,5	0,25 0,27 0,33
		Н2-3,2	1 1,5 2,5	1 1 1	0,3 0,5 0,75	2 2 2	3,2	8	18	4	3	0,5 0,5 0,8	0,46 0,54 0,92
		Н2-3,8	1,5 2,5	1 1	0,5 0,75	2 2	3,8	8	18	4	3	0,5 0,8	0,56 0,90
		Н2-4,3	1,5 2,5 4 6	1 1 1 1	0,5 0,75 1 1,5	2 2 2 2	4,3	10	20	5	3	0,5 0,8 0,8 1	0,61 1,09 1,22 1,66
		Н2-5,5	1,5 2,5 4 6	1 1 1 1	0,5 0,75 1 1,5	2 2 2 2	5,5	12	23	6	3	0,8 0,8 0,8 1	1,22 1,29 1,44 1,78
		Н2-7	2,5 4 6	1 1 1	0,75 1 1,5	2 2 2	7	14	25 25 27	7	3 3 5	0,8 0,8 1	1,46 1,61 2,58

Продолжение

Тип	Эскиз	Обозначение	Для провода				Размеры, *мм*						Вес, *г*
			Сечение, *мм*²	Количество проводов	Сечение, *мм*²	Количество проводов	*А*	*Б*	*В*	*Г*	*Д*	*Е*	
Н4		Н4-4,5-10,5	2,5	1	0,75	2	4,5	11	10,5	5	3	1	1,75
		Н4-5,5-15	2,5 4 6 10	1 1 1 1	0,75 1 1,5 2,5	2 2 2 2	5,5	12	15	7	3	1	2,22 2,35 2,70 3,14
		Н4-5,5-2,7	4 6	1 1	1 1,5	2 2	5,5	12	27	16,5	3	1	3,17 3,52
		Н4-5,5-35	4 6	1 1	1 1,5	2 2	5,5	12	35	23	3	1	3,70 4,05
		Н4-7-17	2,5 4 6 10	1 1 1 1	0,75 1 1,5 2,5	2 2 2 2	7	16	17	8	4	1	3,18 3,35 3,82 4,39

Продолжение

Тип	Эскиз	Обозначение	Для провода: Сечение, $мм^2$	Для провода: Количество проводов	Для провода: Сечение, $мм^2$	Для провода: Количество проводов	Размеры, *мм*: А	Б	В	Г	Д	Е	Вес, *г*
Н6		Н6-2,8	0,3 0,5	1 1	— —	— —	2,8	5	6,5	2,5	1	0,3	0,19 0,20
		Н6-3,5	0,5 0,75 1 1,5	1 1 1 1	— — 0,3 0,5	— — 2 2	3,5	8	10	4	2	0,5	0,44 0,46 0,50 0,54
		Н6-4,3	1 1,5 2,5 4	1 1 1 1	0,3 0,5 0,75 1	2 2 2 2	4,3	10	10	5	2	0,8	1,11 1,18 1,26 1,40
		Н6-4,8	1,5 2,5 4	1 1 1	0,5 0,75 1	2 2 2	4,8	10	10	5	2	0,8	1,16 1,18 1,36
		Н6-5,5	1,5 2,5 4	1 1 1	0,5 0,75 1	2 2 2	5,5	10	10	5	2	0,8	1,11 1,16 1,32

Продолжение

Тип	Эскиз	Обозначение	Для провода: Сечение, $мм^2$	Для провода: Количество проводов	Для провода: Сечение, $мм^2$	Для провода: Количество проводов	Размеры, *мм*: А	Б	В	Г	Д	Е	Вес, *г*
Н6-II		Н6II-3,2	0,75 1,5	1 1	— —	— —	3,2	8	7,5	4	4	0,5 0,8	0,44 0,99
		Н6II-4,5	1,5	1	—	—	4,5	9	10	4,5	5	0,8	1,62
Н8		Н8-4,3	2,5	2	—	—	4,3	9	9,6	4,6	2	1	2,42
		Н8-5,5	2,5 4 6 10	2 2 2 2	— — — —	— — — —	5,5	13	12	6	3	1	3,31 3,53 4,17 5,02
		Н8-7	2,5 4 6 10	2 2 2 2	— — — —	— — — —	7	18	16	8	3	1	5,03 5,41 6,34 7,49

Продолжение

Тип	Эскиз	Обозначение	Для провода: Сечение, мм²	Для провода: Количество проводов	Для провода: Сечение, мм²	Для провода: Количество проводов	Размеры, мм: А	Б	В	Г	Д	Е	Вес, г
Н9		Н9-5,5 Н9П-5,5	2,5	2	—	—	5,5	13	12	5,5	2	1	3,15
			4	2	—	—							3,36
			6	2	—	—							4,01
			10	2	—	—							4,86
		Н9-7 Н9П-7	2,5	2	—	—	7	18	16	6,5	3	1	4,80
			4	2	—	—							5,18
			6	2	—	—							6,10
			10	2	—	—							7,26
		Н9-9 Н9П-9	2,5	2	—	—	9	20	16	6,5	3	1	4,85
			4	2	—	—							5,24
			6	2	—	—							6,17
			10	2	—	—							7,32

Продолжение

Тип	Эскиз	Обозначение	Для провода: Сечение, мм²	Для провода: Количество проводов	Для провода: Сечение, мм²	Для провода: Количество проводов	Размеры, мм: А	Б	В	Г	Д	Е	Вес, г
Н10		Н10-2,8	1,5	2	—	—	2,8	10	4	2	—	2	0,35
			4,2	1	—	—							0,35
		Н10-4,5	1,5	2	—	—	4,5	10	8	4	—	2	0,69
			4,2	1	—	—							0,69
		Н10-5, 5-13	4	2	—	—	5,5	13	12	5,5	3	3	1,84
		Н10-5, 5-18	4	2	—	—	5,5	18	25	8	10	3,5	7,70
		Н10-7	6	2	—	—	7	18	25	8	10	3,5	7,44
		Н10-9	10	2	—	—	9	18	25	9	10	3,5	7,01
Н10П		Н10П-5, 5-13	4	2	—	—	5,5	13	12	5,5	3	3	1,58
		Н10П-5, 5-18	4	2	—	—	5,5	18	25	8	10	3,5	7,14
		Н10П-7	6	2	—	—	7	18	25	8	10	3,5	6,81
		Н10П-9	10	2	—	—	9	18	25	9	10	3,5	6,17

Продолжение

Тип	Эскиз	Обозначение	Для провода: Сечение, $мм^2$	Количество проводов	Сечение, $мм^2$	Количество проводов	Размеры, мм: А	Б	В	Г	Д	Е	Вес, г
Н11		Н11-3	1,5	1	—	—	3	—	25	—	—	—	1,15
		Н11-4	2,5	1	—	—	4	—	20	—	—	—	1,58
		Н11-5	4	1	—	—	5	—	16	—	—	—	1,97
		Н11-6	6	1	—	—	6	—	20	—	—	—	3,75
Н12		Н12-7	0,3	1	—	—	7	3,5	4	4	5,5	0,5	0,32
			0,5	1	—	—							

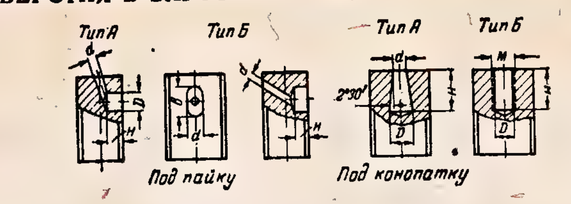
Примечания: 1. Все размеры имеют допуск по 7-му классу точности ОСТ/ВКС 1010 кроме размеров, оговоренных допуском на эскизе.
2. Материал — красная медь мягкая МЗ ГОСТ 1173-41 или латунь мягкая Л62 ГОСТ 2208-43.

Пружина к щетке с наконечником Н12

№ п/п.	Эскиз	Обозначение	Размеры, мм: D	l	t	Z	Z_1	s	Примечание
1		П-2, 4-40	2,4	40	0,5	77	3	0,25	Z и Z_1—число витков
2		П-4-28	4	28	1,75	16	3	0,3	
3		П-4, 1-40	4,1	40	1,09	34	3	0,5	

Примечания: 1. Проволока стальная пружинная ПК ОСТ/НКМ 20006-38.
2. Размеры D и t имеют допуск по 7-му классу точности ОСТ/ВКС 1010.

6. ОТВЕРСТИЯ В ЗАГОТОВКАХ ЩЕТОК ПОД ТОКОПРОВОД



Допуски по 7-му классу точности $А_7$ ОСТ 1010

Токопровод: Сечение, $мм^2$	Расчетный диаметр, мм	Омедненные, под пайку, Тип А: d	D	H	Тип Б: d	a	в	H	Неомедненные, под конопатку, Тип А: d	D	H	Тип Б: D	M	H
0,16	0,7	1	2,5	1,5	1	2	3	1,5	—	—	—	1,5	м1,7	11
0,17	0,7	1	2,5	1,5	1	2	3	1,5	—	—	—	1,5	м1,7	11
0,3	0,9	1,2	3	2	1,2	2,5	3,5	2	—	—	—	1,5	м1,7	11
0,5	1,1	1,4	3	2,5	1,4	2,5	3,5	2,5	2	2,8	12	1,8	м2	11
0,75	1,3	1,6	3	2,5	1,6	2,5	3,5	2,5	2,2	3,2	12	2,1	м2,3	11
1	1,6	1,9	3,3	2,5	1,9	3	3,5	2,5	2,5	3,5	12	2,4	м2,6	11
1,5	1,8	2,1	3,5	3	2,1	3	4	3	3	4	12	2,8	м3	11
2,5	2,5	2,9	4	3,5	—	—	—	—	3,5	4,7	14	3,8	м4	12
4	3,1	3,4	5	4	—	—	—	—	4,6	6	16	4,7	м5	16
6	4	—	—	—	—	—	—	—	5,6	7,2	18	5,7	м6	18
10	5,5	—	—	—	—	—	—	—	7,1	8,7	18	7,4	м8	18

Продолжение



Допуски по 7-му классу точности A_7 ОСТ 1010

Токопровод		Размеры, *мм*, под провод ПЩ											
		Омедненные						Неомедненные					
Сечение, *мм*²	Расчетный диаметр, *мм*	*d* Под 1 провод	*d* Под 2 провода	D_1	D_2	H_1	H_2	*d* Под 1 провод	*d* Под 2 провода	D_1	D_2	H_1	H_2
0,3	0,9	1,4	—	4,5	2,5	2,5	2	1,3	—	4,5	2,5	2,5	2
0,5	1,1	1,6	—	4,5	2,5	2,5	2	1,5	—	4,5	2,5	2,5	2
0,75	1,3	1,7	2,4	6,5	3,5	2,8	2	1,6	2,3	6,5	3,5	2,7	2
1	1,6	2,2	3,1	6,5	3,5	3	2	2,1	3	6,5	3,5	3	2
1,5	1,8	2,4	3,4	8,5	4,5	4	2,5	2,3	3,4	8,5	4,5	4	2,5
2,5	2,5	3	4,5	10,5	5,5	5	2,5	2,9	4,5	10,5	5,5	5	2,5
4	3,1	3,5	5,5	12,5	6,5	5,5	2,5	3,5	5,5	12,5	6,5	5,5	2,5
6	4	4,5	6,5	16,5	8,5	6	2,5	4,5	6,5	16,5	8,5	6	2,5
10	5,5	6	8,5	18,5	8,5	7,5	2,5	6	8,5	18,5	8,5	7,5	2,5

7. КОНСТРУКЦИИ И РАЗМЕРЫ ОБОЙМ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ТОКОПРОВОДА К ТЕЛУ ЩЁТКИ

Тип	Эскиз	Обозначение	Для щеток размером, *мм* *b*	*l*	К проводу сечением, *мм*²	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	α°	Вес, *г*
08		08-11,5-5	8—10	13—15	—	11,5	5	—	0,5	—	—	—	—	0,64
		08-18-3	6—8	20—22	—	18	3	—	0,5	—	—	—	—	1,79
		08-18-5	8—10	20—22	—	18	5	—	0,5	—	—	—	—	1,04
		08-28-26	30—34	30—35	10	28	26	—	1	5,8	14	—	—	9,6
011		011-7-14	10—12	16—60	От 1,5 до 10	8	7	14	0,8	3,4	10	4	90	1,16
		011-7-14	10—12			8	7	14	1,5	3,4	10	4	90	2,12
		011-10-14	13—15			8	10	14	1,5	3,4	10	4	90	2,14
		011-15,5-14	18,5—20,5			12	15,5	14	1	6,4	8	6	90	2,84
		011-5-14	8—10			12	5	14	1	6,4	8	6	90	1,78
		011-7-14	10—12			12	7	14	1	6,4	8	6	90	1,97
		011-5,5-18	8,5—10,5	От 25 до 60		12	5,5	18	0,8	6,4	12	6	65	1,78
		011-6-18	9—11			12	6	18	1	6,4	12	6	70	2,29
		011-10-14	13—15			12	10	14	1	6,4	8	6	90	2,29
		011-7-18	10—12			12	7	18	1	6,4	12	6	90	2,4
		011-9,5-18	12,5—14,5			12	9,5	18	1	6,4	12	6	90	2,66
		011-10-18	13—15			12	10	18	1,5	6,4	12	6	90	4,07
		011-12-18	15—17			12	12	18	1	6,4	12	6	90	2,94
		011-12-18	15—17			12	12	18	1	6,4	12	6	70	2,94
		011-13-18	16—18			12	13	18	1	6,4	12	6	75	3,08
		011-14,5-18	17,5—19,5			12	14,5	18	1	6,4	12	6	90	3,2
		011-19-18	22—24			12	19	18	1	6,4	12	6	90	3,68
		011-19-18	22—24			12	19	18	1,5	6,4	12	6	90	5,52

Продолжение

Тип	Эскиз	Обозначение	Для щеток размером, мм: b	Для щеток размером, мм: l	К проводу сечением, мм²	Размеры, мм: А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	α°	Вес, г
011		011-17-20	20—22	От 30 до 60	От 1,5 до 10	12	17	20	1,5	6,4	14	6	75	5,52
		011-16-24	19—21			12	16	24	1	6,4	18	6	75	4
		011-19-28	22—24			12	19	28	1	6,4	22	6	66	4,74
		011-6-20	9—11			16	6	20	1	8,4	12	8	90	3,6
		011-12,5-20	15,5—17,5			16	12,5	20	1,5	8,4	12	8	90	6,18
		011-12,5-20	15,5—17,5			16	12,5	20	1	8,4	12	8	90	4,12
		011-10-24	13—15			16	10	24	1	8,4	16	8	75	4,33
		011-14,5-20	17,5—19,5			16	14,5	20	1	8,4	12	8	90	4,41
		011-17-20	20—22			16	17	20	1	8,4	12	8	90	4,76
		011-17-20	20—22			16	17	20	1,5	8,4	12	8	90	7,14
		011-15-24	18—20			16	15	24	1	8,4	16	8	90	6,05
		011-12-28	15—17			16	12	28	1	8,4	20	8	60	5,19
		011-12-28	15—17			16	12	28	1	8,4	20	8	65	5,19
		011-13-28	16—18			16	13	28	1	8,4	20	8	75	5,33
		011-17-24	20—22			16	17	24	1,5	8,4	16	8	90	7,99
		011-14-28	17—19			16	14	28	1	8,4	20	8	90	5,47
		011-18-24	21—23			16	18	24	1	8,4	16	8	90	5,47
		011-22-20	25—27			16	22	20	1	8,4	12	8	90	5,47
		011-16-28	19—21			16	16	28	1	8,4	20	8	75	5,76
		011-20-24	23—25			16	20	24	1,5	8,4	16	8	70	8,63
		011-20,5-24	23,5—25,5			16	20,5	24	1	8,4	16	8	90	5,83
		011-24-24	27—29			16	24	24	1,5	8,4	16	8	65	9,48
		011-28-20	31—33			16	28	20	1	8,4	12	8	90	6,33
		011-21-28	24—26			16	21	28	1	8,4	20	8	75	6,47
		011-22-28	25—27			16	22	28	1,5	8,4	20	8	70	9,91

Продолжение

Тип	Эскиз	Обозначение	Для щеток размером, мм: b	Для щеток размером, мм: l	К проводу сечением, мм²	Размеры, мм: А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	α°	Вес, г
011Ж	Форма I; Форма II	011Ж-19-18 (I)	21—23	25—60	От 1,5 до 10	10	19	18	1,5	5,4	13	5	75	4,06
		011Ж-19-18 (I)	21—23	25—60		10	19	18	1,5	5,4	13	5	90	4,06
		011Ж-20-28 (II)	23—25	От 30 до 60		16	20	28	1,5	8,4	20	8	56	7,26
		011Ж-24-24 (II)	27—29			16	24	24	1,5	5,2	16	8	65	7,26
		011Ж-24-24 (II)	27—29			16	24	24	1,5	5,2	16	8	75	7,26
		011Ж-24-24 (II)	27—29			16	24	24	1,5	5,2	16	8	58	7,26
		011Ж-20-24 (I)	23—25			16	20	24	1,5	5,2	16	8	70	7,57
		011Ж-24-24 (I)	27—29			16	24	24	1,5	5,2	16	8	65	8,31
014		014-17-16,5	21—25	25—50	2,5—10	16	17	16,5	1	4,4	8,5	8		6,16
		014-20-14	24—30	25—50	2,5—10	16	20	14	1	4,4	6	8		6,10
		014-11-14,5	15—20	25—50	2,5—10	16	11	14,5	1	4,4	6,5	8		4,76

Продолжение

Тип	Эскиз	Обозначение	Для щеток размером, *мм*		К проводу сечением, *мм²*	Размеры, *мм*								Вес, *г*
			b	*l*		А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	
011		011-10-14	13—15	От 25 до 60	От 1,5 до 10	12	10	14	1	6,4	8	6	3,75	2,1
		011-13-14	16—18			12	13	14	1	6,4	8	6	5	2,42
		011-15,5-14	18,5—20,5			12	15,5	14	1	6,4	8	6	5,5	2,69
		011-20-14	23—25			12	20	14	1	6,4	8	6	7,5	3,49
		011-16-20	19—21			12	16	20	1	6,4	14	6	5,5	3,7
		011-25,5-14	28,5—30,5			12	25,5	14	1	6,4	8	6	10	3,76
		011-20-20	23—25			12	20	20	1	6,4	14	6	8,5	3,81
		011-22,5-20	25,5—27,5			12	22,5	20	1	6,4	14	6	8,5	4,08
		011-16-24	19—21	30—60		16	16	24	1	8,4	16	8	7,5	4,72
		011-25-20	28—30	30—60		16	25	20	1	8,4	12	8	10	5,34
016		016-12-9	16—18	30—35	4	28	12	9	1	3,5	18	22	20	7,3
		016-21-9	25—27	32—40	6	30	21	9	1	4,5	18	21	29	9,52
		016-12-9	16—18	32—40	6	30	12	9	1	4,5	18	22	20	7,65
		016-6-9	10—12	25—30	4	23	6	9	1	3,5	16	17	14	4,54
		016-21-9	25—27	32—40	6	30	21	9	1	4,5	18	20	29	10,06
		016-8,5-9	12,5—15	32—40	6	30	8,5	9	1	4,5	18	20	16,5	7,59
		016-16-9	20—22	32—40	10	30	16	9	1	5,8	18	21	24	7,9

Продолжение

Тип	Эскиз	Обозначение	Для щеток размером, *мм*		К проводу сечением, *мм²*	Размеры, *мм*								Вес, *г*
			b	*l*		А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	
016		016-6-9	10—12	25—30	4	23	6	9	1	6	16	9,5	14	4,36
		016-6-9	10—12	20—25	2,5	18	6	9	1	6	11	5,5	14	3,87
		016-6-9	10—12	32—40	4	30	6	9	1	5	18	10	14	5,87
		Отверстие *d* для провода сечением 4 *мм²* устанавливается 3,5 *мм*, а для 2,5 *мм²*—3 *мм*												
017		017-27-9	28—30	32—38	10	34	27	9	1	5,8	20	28		10,06
		017-26-9	28—30	30—36	6	34	26	9	1	4,5	20	28		10,5
		017-26-9	23—25	30—36	6	29	26	9	1	4,5	15	23		8,54
		017-26-9	22—22	30—36	4	26	26	9	1	3,5	12	30		7,3
		017-26-9	18—20	30—36	6	24	26	9	1	4,5	10	18		6,41

8. МЕЛКИЕ ДЕТАЛИ АРМАТУРЫ

Шайбы (сортамент)
(материал: красная медь МЗ ГОСТ 1173-41 или латунь Л62 ГОСТ 2208-43)

№	Эскиз	Обозначение шайбы	Для трубки	Размеры шайбы, *мм*			Вес шайбы, *г*
				D	d	s	
		Ш4/2,5	2/1	4	2,5	0,5	0,03
		Ш6/3,5	3/2	6	3,5	0,5	0,07
		Ш8,5/4,5	4/3	8,5	4,5	1	0,35
		Ш10/5,5	5/3	10	5,5	1	0,49
		Ш12/6,5	6/4	12	6,5	1	0,71
		Ш16/8,5	8/6	16	8,5	1	1,29
		Ш18/8,5	8/6	18	8,5	1	1,68

Продолжение

Трубка шайбы (сортамент)
(материал: трубка медная МЗ по ОСТ (ЦМ-21-39 ЦМТУ-1091-41)

Эскиз	Толщина щетки, *мм*	*l* для *D*		Размеры трубки, *мм*					
		2; 3; 4	5; 6; 8	D: 2 / d: 1	3 / 2	4 / 3	5 / 3	6 / 4	8 / 6
Обозначение трубки				ТШ2/1	ТШ3/2	ТШ4/5	ТШ5/3	ТШ6/4	ТШ8/6
				Вес трубки, *г*					
	4	5	—	0,13	—	—	—	—	—
	5	6	—	0,15	—	—	—	—	—
	5,5	6,5	—	0,16	0,25	—	—	—	—
	6	7	—	0,17	0,28	0,39	—	—	—
	6,5	7,5	—	0,18	0,30	0,42	—	—	—
	7	8	—	0,19	0,32	0,44	—	—	—
	8	9	—	0,21	0,35	0,49	—	—	—
	9	10	11	0,23	0,39	0,54	1,35	1,7	2,4
	9,5	10,5	11,5	0,24	0,40	0,56	1,4	1,8	2,5
	10	11	12	0,25	0,42	0,59	1,5	1,9	2,6
	12	13	14	—	0,49	0,69	1,7	2,1	3,0
	12,5	13,5	14,5	—	0,51	0,71	1,75	2,2	3,1
	13	14	15	—	0,53	0,74	1,8	2,3	3,2
	14	15	16	—	0,56	0,78	1,9	2,4	3,4
	15	16	17	—	0,60	0,83	2,0	2,5	3,6
	16	17	18	—	0,63	0,88	2,1	2,7	3,8
	17	18	19	—	0,67	0,93	2,3	2,8	4,0
	18	19	20	—	0,70	0,98	2,4	3,0	4,2
	19	20	21	—	0,74	1,03	2,5	3,1	4,4
	20	21	23	—	0,77	1,08	2,6	3,2	4,6
	21	22	23	—	0,81	1,13	2,7	3,4	4,8
	22	23	24	—	0,84	1,18	2,8	3,5	5,0
	23	24	25	—	0,88	1,23	2,9	3,7	5,2
	25	26	27	—	0,95	1,32	3,2	3,9	5,5
	27	28	29	—	1,02	1,42	3,4	4,2	5,9
	30	31	32	—	1,12	1,57	3,7	4,7	6,5

Продолжение

Эскиз	Толщина щетки, *мм*	*l* для *D*		Размеры трубки, *мм*					
		2; 3; 4	5; 6; 8	D: 2 / d: 1	3 / 2	4 / 3	5 / 3	6 / 4	7 / 6
	32	33	34	—	1,19	1,67	4,0	4,9	6,9
	33	34	35	—	1,23	1,72	4,1	5,0	7,1
	34	35	36	—	—	1,77	4,2	5,2	7,3
	35	36	37	—	—	—	4,3	5,4	7,5
	37	38	39	—	—	—	—	5,6	7,9
	40	41	42	—	—	—	—	—	8,5
	42	43	44	—	—	—	—	—	8,9

9. ОПРОСНЫЙ ЛИСТ ДЛЯ ВЫБОРА МАРКИ ЩЕТОК

Вопросы	Ответы
1. Тип машины (электродвигатель постоянного тока, генератор переменного тока, преобразователь, коллекторный электродвигатель переменного тока и т. д.)	
2. Напряжение, *в*	
3. Нормальная и максимальная сила тока, *а*	
4. Полное количество установленных на машине щеток	
5. Тип нагрузки	
6. Сколько щеток на каждом щеткодержательном болте	
7. Сколько щеток на каждом контактном кольце	
8. Точные размеры щеток (при фасонных—приложить эскиз)	
9. Полная нагрузка в амперах на одну щетку	
10. Длительность перегрузки	
11. Диаметр коллектора или контактных колец	
12. Скорость коллектора или колец, об/мин	
13. Коллектор с продороженной или непродороженной слюдой	

Вопросы	Ответы
14. Материал контактных колец	
15. Какие марки щеток работали раньше (фирма, марка)	
16. Характеристика работы применяемых щеток: а) состояние коллектора или колец (темный, блестящий, с царапинами, бороздами и т. д.) б) состояние контактной (трущейся) поверхности щеток (блестящая, матовая, подгоревшая, плохая пришлифовка и т. д.) в) износ щеток г) нагрев д) искрение (слабое, сильное, очень сильное и т. д.)	
17. Состояние окружающей среды (чистота воздуха): запыленность, наличие газов или паров, температура и т. д.	

ЛИТЕРАТУРА

1. Нейкирхен, Угольные щетки и причины непостоянства условий коммутации машин постоянного тока, ОНТИ НКТП СССР, 1937.

2. Гейнрих, Проблема скользящего контакта в электромашиностроении, Энергоиздат, 1933.

3. А. С. Красильников, Производство электроугольных изделий, ОНТИ, М., 1936.

4. С. А. Цукерман, Порошковая металлургия и ее промышленное применение, Изд. Академии Наук СССР, М.—Л., 1949.

5. В. С. Веселовский, Технология искусственного графита, ОНТИ, М., 1940.

6. В. С. Кулебакин, Испытание электромашин и трансформаторов, ОНТИ, 1935.

7. З. И. Фур, Промышленные испытания электрических машин, ОНТИ, 1937.

8. М. Ф. Карасев, Настройка коммутации электрических машин (в защиту советского приоритета), «Электричество», 1950, № 3.

9. В. М. Ильгисонис и Г. С. Штыхнов, Окисление коллектора угольными щетками и борьба с ним, «Вестник электропромышленности», 1934, № 12.

10. С. Б. Юдицкий, Коммутация машин постоянного тока, [illegible]дат, 1941.

11. Р. Рихтер, Электрические машины, т. 1, ОНТИ, 1935.

12. К. И. Шенфер, Динамомашины и двигатели постоянного тока, ОНТИ, 1937.

13 и 14. О. Г. Вегнер, О некоторых вопросах коммутации [illegible] помощи коллектора и щеток, «Труды Ленинградского индустриального [illegible]тута», 1938, № 7.

15. М. Ф. Карасев, Экспериментальные исследования [illegible] мутации электрических машин на модели, «Электричество», [illegible]

16. М. Ф. Карасев, Природа щеточного контакта машин [illegible] тока, «Электричество», 1948, № 10.

17. М. Ф. Карасев, К вопросу о расчете коммутации [illegible]янного тока, «Электричество», 1940, № 7.

18. Щетки для электрических машин, ГОСТ 2332-43.

19. В. Т. Касьянов, Регулировка дополнительных [illegible] постоянного тока, «Электричество», 1934, № 20 и 1935, № 1.

20. Г. С. Штыхнов и С. Г. Шевелевич, Определение [illegible] по Шору угольных щеток склероскопами разных систем, [illegible]тория», 1935, № 7.